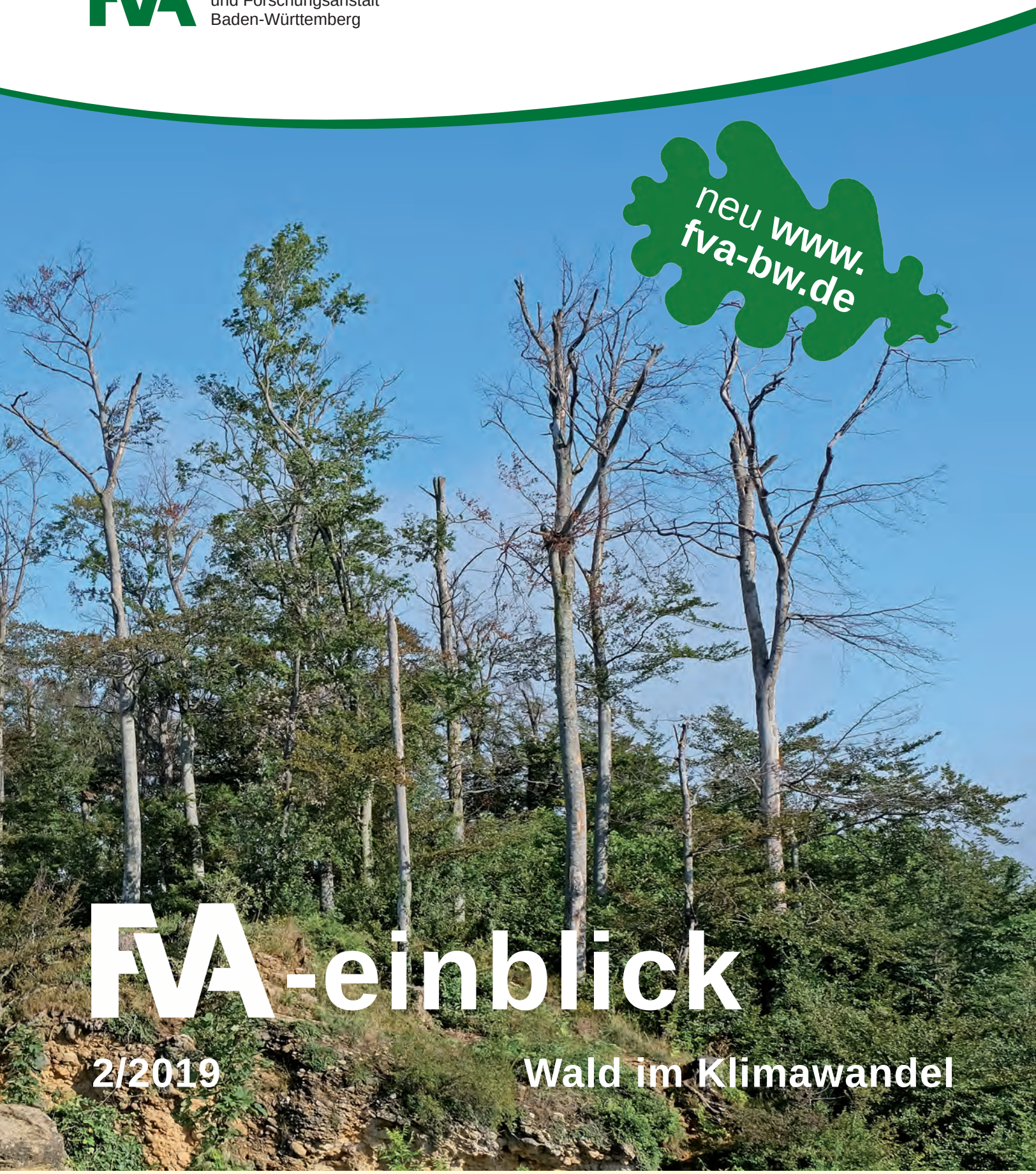
Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg



neu www.
fva-bw.de

FVA-einblick

2/2019

Wald im Klimawandel

ForstBW

Baden-Württemberg

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

kaum ein Thema bewegt die Gemüter im Moment so sehr wie der Klimawandel. Jeden Freitag gehen Tausende junge Menschen auf die Straße und demonstrieren bei „Fridays for Future“ dafür, dass der Klimawandel ernst genommen wird und entsprechende Gegenmaßnahmen getroffen werden. Auch am Wald gehen die Veränderungen im Klima nicht spurlos vorüber.
Trockenheit, Waldbrände und die Schädlingsproblematik haben in den letzten Wochen den Wald stark in den Fokus der Medien rücken lassen. Welche Auswirkungen hat der Klimawandel genau auf den Wald und welche Handlungsoptionen stehen zur Verfügung, um unsere Wälder fit für die Zukunft zu machen? Diesen wichtigen Fragen gehen wir in diesem Einblick nach. Thilo Wolf und Arno Röder führen uns dazu in die Klima-Grundlagen ein. Axel Albrecht stellt mit Hans-Gerd Michiels und Ulrich Kohnle neu erstellte Karten vor, welche die zukünftige Eignung der klassischen Baumarten zeigen. Dominik Cullmann erläutert die dafür verwendeten Verfahren der multikriteriellen Bewertung. Im Anschluss daran wirft er zusammen mit Manuel Händel einen Blick auf klimasensitive Artverbreitungsmodelle. Die Autorinnen und Autoren um Heike Puhlmann gehen im Folgenden der Frage nach, wie es um den Wasserhaushalt von Wäldern bestellt ist und wie dieser sich künftig entwickeln wird. Markus Kautz zeigt zusammen mit Manuel Händel auf, wie das Modell PHENIPS dabei helfen kann, das Buchdruckerrisiko abzuschätzen. Um Bonitäten und deren Dynamik geht es den Autoren um Chaofang Yue. Axel Albrecht und Ahssem Almehasneh zeigen auf, wie das Sturmrisiko berechnet und welche Schlüsse daraus gezogen werden können. Zum Abschluss gewähren Christoph Hartebrodt und Yvonne Hengst-Erhard Einblicke in die Praxis des Krisenmanagements und zeigen auf, wie man mit unvorhergesehenen Ereignissen umgehen und sich dafür rüsten kann.
Einen bunten Strauß an Erkenntnissen und Wissen bietet unsere aktuelle Ausgabe also zu diesem wichtigen Thema des Klimawandels und seinen Auswirkungen auf den Wald. Aber für mich, liebe Leserinnen und Leser, ist dieser Einblick nicht nur wegen diesem virulenten Thema ein ganz besonderer. Nach mehr als 50 Ausgaben, die ich mit dem aktuellen FVA-einblick begleitet habe, werde ich im Herbst den „Staffelstab“ an meine Nachfolge weiterreichen. Sie, liebe Leserinnen und Leser, regelmäßig mit den wichtigsten Forschungsergebnissen unserer Institution zu versorgen, war mir stets ein persönliches Anliegen und eine außerordentliche Freude. Ich möchte mich ganz herzlich für ihr Interesse und ihre Treue bedanken.

Ihr

Konstantin Frhr. von Teuffel

Impressum

Herausgeber
Prof. Konstantin Frhr. von Teuffel
Direktor der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Adresse
Wonnhaldestr. 4
D-79100 Freiburg
Tel.: (07 61) 40 18 - 0
fva-bw@forst.bwl.de
www.fva-bw.de

Redaktion
Dr. Petra Adler
Tobias Beigel
Dr. Reinhold John
Thomas Weidner
Katja Wetz

Bildherkunft
Wenn nicht anders angegeben, stammen die Bilder von den Autorinnen bzw. Autoren.

Auflage
1.700 Exemplare

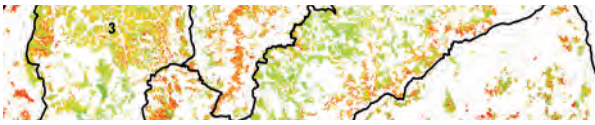
Die Redaktion behält sich die sinnwahrende Kürzung, das Einsetzen von Titeln und Hervorhebungen vor. Die Beiträge müssen nicht unbedingt die Meinung der Redaktion wiedergeben.

Nr. 2, August 2019, Jahrgang 23
ISSN 1614-7707

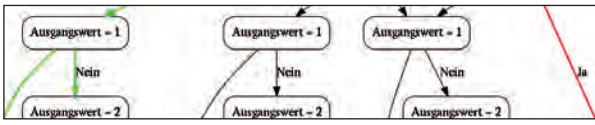
Inhalt

4 Klimatologische Datengrundlagen
von Thilo Wolf und Arno Röder

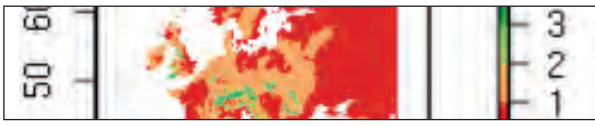
9 Baumarteneignung 2.0 und Vulnerabilitätskarten - Konzept und landesweite Hauptergebnisse
von Axel Albrecht, Hans-Gerd Michiels und Ulrich Kohnle



15 Verfahren Multikriterieller Bewertungen - Baumarteneigung 2.0 und Vulnerabilität
von Dominik Cullmann



20 Klimasensitive Artverbreitungsmodelle
von Manuel Händel und Dominik Cullmann



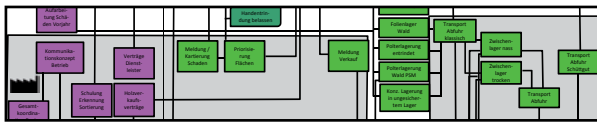
22 Wasserhaushalt und Trockenstress von Wäldern: Wohin geht die Reise?
von Heike Puhlmann, Thilo Wolf, Nele Stackelberg, Roland Hoch und Till Hallas

27 Abschätzung des Buchdruckerrisikos mithilfe des Modells PHENIPS
von Markus Kautz und Manuel Händel

32 Bonitäten: Dynamischer als gedacht
von Chaofang Yue, Axel Albrecht, Joachim Klädtke und Ulrich Kohnle

37 Berechnung des Sturmrisikos
von Axel Albrecht und Ahssem Almehasneh

42 Praxischeck prozessbasiertes 4-3-2 Krisenmanagement
von Christoph Hartebrodt und Yvonne Hengst-Ehrhart



47 FVA-Nachrichten

Klimatologische Datengrundlagen

von Thilo Wolf und Arno Röder

Das Kompendium der Beiträge in dieser Ausgabe des FVA-einblick spiegelt die Vielfalt und das Zusammenspiel der Forschungsansätze mit Klimabezug an der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) wider. Im Rahmen der Klimafolgenforschung werden klimasensitive Wirkungsmodellierungen angewandt, um fundierte Entscheidungsgrundlagen für eine an den Klimawandel angepasste Waldbewirtschaftung zu schaffen. Je nach Fragestellung bestehen unterschiedliche Anforderungen an die eingehenden Klimadaten.

Im Folgenden werden diese Anforderungen aufgezeigt und die verwendeten Klimadaten beschrieben. Besonderer Fokus liegt dabei auf den Datensätzen der Universität Hamburg, die in Kooperation mit der FVA entstanden.

Anforderungen an die Klimadaten

Eine flächendeckende Bereitstellung von Klimainformationen wird über die Verwendung von Rasterdaten erreicht. Jede Rasterzelle - jedes Pixel - liefert dabei einen Wert einer Klimagröße, der für die gesamte Fläche der Zelle Gültigkeit hat. So gilt beispielsweise ein Temperaturwert einer Rasterzelle mit einer Kantenlänge von 1 x 1 Kilometer für den ganzen Quadratkilometer, den diese Zelle abdeckt (Abb. 1). Die Anzahl der Rasterzellen, die ein Gebiet beschreiben, ergibt sich aus der räumlichen Ausdehnung des Gebiets sowie der Größe der Rasterzellen: die Waldfläche Baden-Württembergs beispielsweise wird in einem 250x250-m-Rastersystem mit ca. 230.000 Rasterzellen repräsentiert.
Die Palette benötigter Klimagrößen wird durch das jeweilige Forschungsvorhaben bestimmt. Für einige Wirkmodelle sind ausschließlich Temperatur- und Niederschlagsdaten erforderlich. Darüber hinaus finden in einem Teil der Bearbeitungen jedoch auch die Parameter Windgeschwindigkeit, Dampfdrucksättigungsdefizit - ein Feuchtigkeitsparameter - sowie Globalstrahlung Verwendung.
Bezüglich der zeitlichen Abdeckung divergieren die Bedarfe in den Untersuchungen. Der Großteil der Bearbeitungen stützt sich auf historische Klimadaten, die bis 1961 zurückreichen. Zum Teil werden jedoch weiter zurückreichende Informationen benötigt und es wird daher auf andere Datenquellen zurückgegriffen. Um auch die fernere Zukunft hinsichtlich klimatischer Entwicklungen einschätzen zu können, sind Klimaprojektionen bis zum Jahr 2100 gefordert.

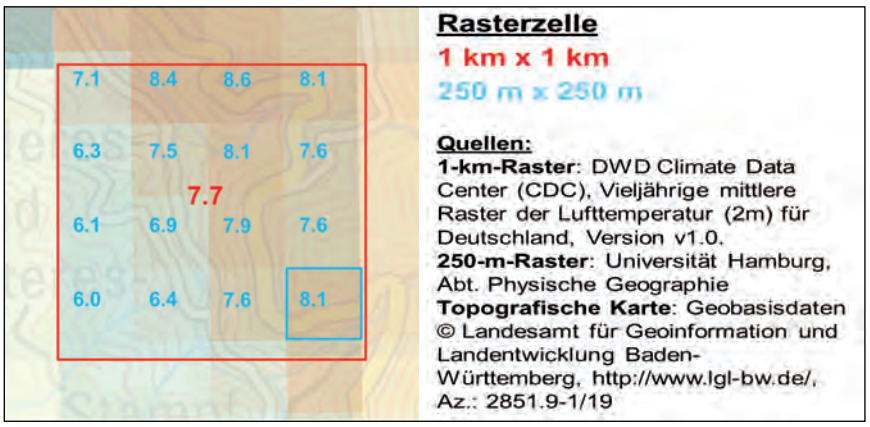


Abb. 1: Flächige Bereitstellung von Klimainformationen dargestellt an zwei überlagerten Rasterdatensätzen mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung. Die Werte beschreiben langjährige Jahresmitteltemperaturen in ° C.

Die Anforderungen an die zeitliche Auflösung der Klimadaten variieren ebenfalls. Beispielsweise sind Untersuchungen zum Wasserhaushalt oder dem Borkenkäferbefall auf Tageswerte angewiesen, um temporäre Extremereignisse, Verläufe innerhalb eines Monats oder Schwellwerte berücksichtigen zu können. Im Falle der Artverbreitungsmodelle hingegen sind langjährige Klimawerte entsprechend der Zielauflösung ausreichend.

Die genannten Artverbreitungsmodelle wiederum stellen besondere Ansprüche an die räumliche Abdeckung der eingehenden Rasterdaten: hier werden europaweite Klimainformationen benötigt, um z.B. Referenzwerte aus wärmeren Regionen zu erhalten, die mögliche zukünftige klimatische Bedingungen für Baden-Württemberg abbilden können. Der Großteil der Modellierungen bezieht sich jedoch direkt auf die Landesfläche.

Um die klimatischen Bedingungen in den Untersuchungsgebieten unter Berücksichtigung der Topologie möglichst genau abzubilden, ist eine hohe räumliche Auflösung der Klimaraster gefordert. So besteht beispielsweise bei einer Auflösung von 250 x 250 Meter die Möglichkeit, Klimainformationen über Geländestrukturen wie Talflanken und Talboden getrennt abzubilden. Die für die vorliegenden Arbeiten verwendeten Rasterdatensätze liegen in ihrer horizontalen Bodenauflösung alle zwischen 250 x 250 Meter bis zu 1 x 1 Kilometer je Rasterzelle.

Allen hier aufgeführten Ansätzen der Klimafolgenabschätzung ist gemein, dass sie historische Referenzdaten und modellierte Projektionen in die Zukunft in Bezug setzen, um mögliche Veränderungen zu beschreiben. Die historischen Referenzdaten stützen sich größtenteils auf reale Messdaten von Wetterstationen des Deutschen Wetterdiensts, die mit geostatistischen Verfahren auf die Fläche gebracht werden. Dieser Vorgang wird als Regionalisierung bezeichnet. Die Klimaprojektionen basieren auf klimatologischen Modellketten unter Berücksichtigung globaler Zirkulationsmodelle und regionaler Klimamodelle. Regionale Klimamodelle, wie das von der Universität Hamburg verwendete dynamische Modell REMO, bilden einen Ausschnitt der Erdoberfläche ab (Abb. 2). Sie werden von globalen Zirkulationsmodellen angetrieben und erreichen im genannten Beispiel Bodenauflösungen von ungefähr 12 km. Um die geforderten räumlichen Auflösungen auf bis zu 250 m zu verfeinern, ist ein weitergehendes Downscaling notwendig, das ähnlich der Regionalisierung historischer Messdaten mittels geostatistischer Methoden erfolgt. Das Statistische Downscaling nutzt dabei statistische Zusammenhänge zwischen großskaligen Modellvariablen und lokalen Beobachtungen wie beispielsweise Geländeparametern.

Für die Projektionen des Klimas in die Zukunft werden unterschiedliche Szenarien der Treibhausgas-Konzentration berücksichtigt. Diese basieren auf dem Fünften Sachstandsbericht (englisch: Fifth Assessment Report, AR5) des zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (Intergovern-

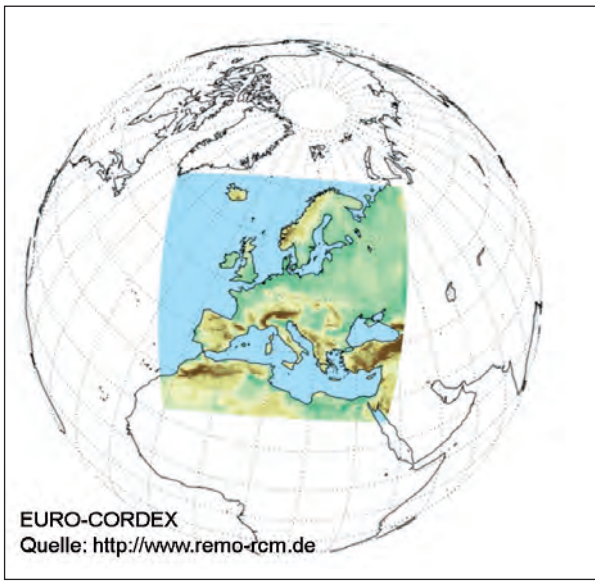


Abb. 2: Die Modelldomäne eines Regionalen Klimamodells beschreibt einen Ausschnitt der Erdoberfläche: Hier die räumliche Abdeckung bei Verwendung des RCM REMO im EURO-CORDEX-Projekt, dessen Output den Klimaprojektionen der Universität Hamburg zugrunde liegt.

Abb. 3: Absterbende Buchen bei Freiburg. (Foto: Thomas Weidner)

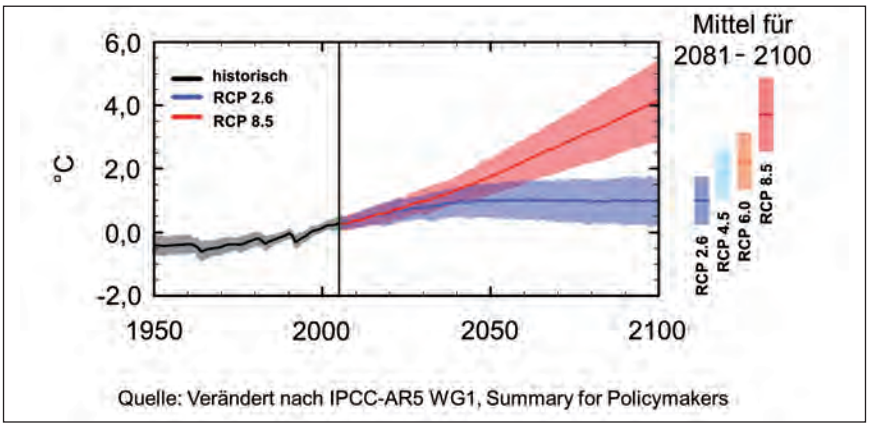


Abb. 4: Mögliche Änderung der globalen durchschnittlichen Oberflächentemperatur relativ zu 1986-2005 gemäß der RCP-Szenarien.

mental Panel on Climate Change, IPCC) der Vereinten Nationen (IPCC 2014). Bei den sogenannten Representative Concentration Pathways (RCP, deutsch: „Repräsentative Konzentrationspfade") sind jeweils unterschiedlich hohe atmosphärische Treibhausgas-Konzentrationen festgelegt und daraus werden die für diese Konzentrationen möglichen Emissionspfade berechnet. Die Namensgebung der verschiedenen RCP-Szenarien erfolgt nach der anthropogenen Strahlungserhöhung am Ende des Jahrhunderts, ausgedrückt in W/m² (d.h. als würde die Sonne eine entsprechend höhere Leistung auf jeden m² der Erde einstrahlen als im vorindustriellen Jahr 1850).

Von den vier RCP, die in der Klimamodellierung mögliche klimatische Zukünfte aufzeigen, wurden die Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 für die folgenden Beiträge berücksichtigt (Abb. 4). RCP 8.5 kann dabei als das „Weiter-wie-bisher-Szenario" bezeichnet werden und repräsentiert den stärksten Anstieg der Treibhausgas-Konzentration, während RCP 4.5 ein mittleres Szenario abbildet, bei dem davon ausgegangen wird, dass ab Mitte des Jahrhunderts wirksame Maßnahmen zum Klimaschutz greifen. RCP 2.6 beschreibt als „Klimaschutz-Szenario" mit dem geringsten Anstieg der Treibhausgas-Konzentration einen möglichen Pfad zur Einhaltung des globalen 2°C-Zieles (Hübener et al. 2017).

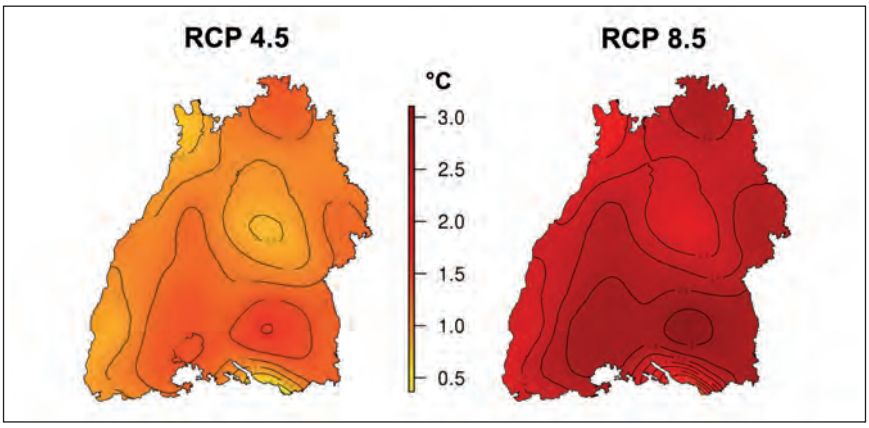


Abb. 5: Zunahme der 30jährigen Jahresmitteltemperatur in Baden-Württemberg für die RCP-Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5. Abgebildet sind jeweils die Werte der projizierten Periode 2071-2100 in Bezug zur historischen Referenzperiode 1981-2010.

Zukünftiges Klima kann nur über mögliche langjährig gemittelte, zukünftige Bedingungen abgebildet werden. Eine Wettervorhersage für einen Zeitraum über wenige Tage hinaus wird zunehmend unsicher. Belastbare Aussagen über das Wetter an einem in weiter Zukunft liegenden Tag sind nicht möglich. Bei der Verwendung von Klimadaten zur Einschätzung klimasensitiver Trends sollten sich resultierende Aussagen auf mindestens 30jährige Zeiträume beziehen. Dies gilt auch für den Fall, dass im Zuge der Bearbeitung in Zwischenschritten der Wirkungsmodellierung höhere zeitliche Auflösungen (beispielsweise modellierte Tageswerte in der Zukunft) Verwendung finden.

Klimadaten der Universität Hamburg

In langjähriger Kooperation der Abteilung Physische Geographie am Institut für Geographie der Universität Hamburg und der FVA entstand eine Klimadatenbasis, welche die oben genannten Anforderungen in einem Ausmaß erfüllt, dass eine Bearbeitung vielfältiger forstlicher Fragestellungen mit Klimabezug ermöglicht wird (Dietrich et al. 2019).

Die Datensätze werden durch folgende Eckpunkte charakterisiert:

- Flächendeckende Klimainformationen für Deutschland
- Räumliche Auflösung von 250 X 250 m
- Tägliche Auflösung
- Klimaparameter: Niederschlag, Temperatur (Tagesmittel, Tagesmaximum. Tagesminimum), Globalstrahlung, Dampfdrucksättigungsdefizit, Windgeschwindigkeit
- aus DWD-Stationen regionalisierte historische Klimadaten für den Zeitraum 1.1.1961 bis

31.12.2013
- feinskalierte REMO-Projektionen aus EURO-CORDEX-Läufen für den Zeitraum 1.1.2006 bis 31.12.2100
- Berücksichtigung der RCP-Szenarien RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5 für die Projektionen.

Die tagesaufgelöste Klimadatenbasis wurde in vielfältiger Weise für die Anwendung in Wirkungsmodellierungen aufbereitet. Neben der Erstellung zeitlicher Aggregationen (Monats- oder Jahreswerte, langjährige oder saisonale Mittelwerte und Summen) und Klima-Kenntagen (Klima-Kennzahlen wie Eistage, Hitzetage etc.) wurden auch Kenngrößen wie beispielsweise Evapotranspiration, Klimatische Wasserbilanz und dynamische Vegetationszeiten abgeleitet.

Abb. 5 zeigt die Änderung der langjährigen Jahresmitteltemperatur für 30jährige Zeiträume in der Zukunft in Bezug zu einer 30jährigen Referenzperiode historischer Klimadaten für zwei RCP-Szenarien.

Aus den flächigen Klimarastern können nach Bedarf Werte für Versuchsflächen und Stichprobenpunkte in Datenbanken extrahiert und beispielsweise für punktbasierte Modellierungen weiterverwendet werden. Abb. 6 zeigt exemplarisch die Entwicklung der Temperatur an Stichprobepunkten der Bundeswaldinventur in Baden-Württemberg für 30jährige Zeiträume.

Nach aktuellem Stand der Wissenschaft werden zur Beurteilung des Klimawandels Ensembles von Klimamodellen ausgewertet. Ein Ensemble berücksichtigt mehrere gezielt ausgewählte Modellketten, die verschiedene Globale Zirkulationsmodelle und Regionale Klimamodelle miteinander kombinieren. Auf diese Weise können mögliche Bandbreiten klimatischer Entwicklungen aufgezeigt werden. Die vorliegenden hochaufgelösten Projektionen der Universität Hamburg beschreiben aufgrund der hohen Anforderungen an Datenhaltung und -prozessierung derzeit ausschließlich eine einzige Modellkette. Bandbreiten, die sich aus der Streuung ausgewählter Klimamodellierungen ergeben, sind daher bisher nicht abbildbar.

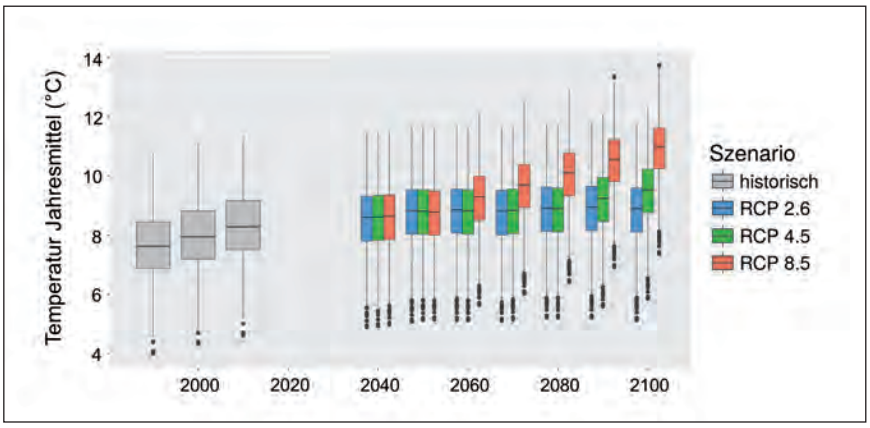


Abb. 6: Dreißigjährige Mittelwerte der Jahresmitteltemperatur an Stichprobepunkten der Bundeswaldinventur in Baden-Württemberg.

Klimadaten des Deutschen Wetterdiensts

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) bietet deutschlandweite Rasterdatensätze mit einer Bodenauflösung von 1 x 1 km an, die eine robuste Flächengrundlage für viele Prozesse bilden. Die feinste zeitliche Auflösung bilden dabei Monatswerte. In der waldwachstumskundlichen Wuchsmodellierung wurde zum Teil auf diese Datensätze zurückgegriffen, da sie das historische Klima bis weit in die Vergangenheit abbilden. Genutzt wurden Niederschlags- und Temperaturraster, die ab dem Jahr 1881 vorliegen (DWD Climate Data Center 2019).

Klimadaten Worldclim

Die Worldclim-Klimadaten liefern weltweit eine historische Regionalisierung aus Stationsmessdaten sowie Projektionen für verschiedene Zeiträume in einer räumlichen Auflösung von ca. 1 x 1 km (Hijmans et al. 2005). Für die Artverbreitungs-

Abb. 7: Meßstation zur Erfassung von Klimadaten im Conventwald. (Foto: Thomas Weidner)

Abb. 8: Wetter und Klima werden unstetiger. (Foto: Thomas Weidner)

modellierung wurden aufgrund des Bedarfs an europaweiten Vergleichsdaten die Datensätze Worldclim-Current und Projektionen der Version 1.4 verwendet.

Zusammenfassung und Ausblick

Wirkungsmodellierungen an der FVA im Kontext des Klimawandels stellen besondere Anforderungen an die eingehenden Klimadaten. Die Universität Hamburg erstellte in Kooperation mit der FVA einen zeitlich und räumlich hochaufgelösten Klimadatensatz, der diese Anforderungen erfüllt. Bei Fragestellungen, die besonders weit in die Vergangenheit zielen oder europaweite Daten integrieren, werden weniger hoch aufgelöste Daten des Deutschen Wetterdienstes und Worlclim-Daten als Klimakomponente hinzugezogen. Zur Erfassung von Bandbreiten zukünftig möglicher klimatischer Entwicklungen soll der aktuelle Klimadatenbestand um ein Ensemble unterschiedlicher Klimamodelle ergänzt werden.

Thilo Wolf
FVA, Biometrie und Informatik
Tel.: (07 61) 40 18 – 2 14
thilo.wolf@forst.bwl.de

Literatur

Dietrich, Helge; Wolf, Thilo; Kawohl, Tobias; Wehberg, Jan; Kändler, Gerald; Mette, Tobias; Röder, Arno; Böhner, Jürgen (2019): Temporal and spatial high-resolution climate data from 1961 to 2100 for the German National Forest Inventory (NFI), Annals of Forest Science, 76:6. https://doi.org/10.1007/s13595-018-0788-5.

DWD Climate Data Center (CDC) (2019): Raster der Monatsmittel der Lufttemperatur (2m) für Deutschland, Version v1.0. & Raster der Monatssumme der Niederschlagshöhe für Deutschland, Version v1.0.

Hijmans, Robert J.; Cameron, Susan E.; Parra, Juan L.; Jones, Peter G.; Jarvis, Andy (2005): Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas, International Journal of Climatology 25:1965–1978. (https://www.worldclim.org)

Hübener, Heike; Spekat, Arne; Bülow, Katharina; Früh, Barbara; Keuler, Klaus; Menz, Christoph; Radtke, Kai; Ramthun, Hans; Rathmann, Torsten; Steger, Christian; Toussaint, Frank; Warrach-Sagi, Kirsten (2017): "ReKliEs-De Nutzerhandbuch", World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ, https://doi.org/10.2312/WDCC/ReKliEsDe_Nutzerhandbuch.

IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp., (https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/)

Baumarteneignung 2.0 und Vulnerabilitätskarten - Konzept und landesweite Hauptergebnisse

von Axel Albrecht, Hans-Gerd Michiels und Ulrich Kohnle

Zur Unterstützung der Waldbewirtschaftung im fortschreitenden Klimawandel wurden an der FVA neue Karten zur Baumarteneignung und zur Vulnerabilität der Wälder erstellt. Neue Karten wurden notwendig, da die bisherigen Karten auf veralteten Klimadaten beruhten und Abschätzungen nur bis zum Jahr 2050 ermöglichten. Die dargestellten Inhalte betreffen vorwiegend Wirtschaftswälder und liegen für die Hauptbaumarten Fichte, Buche, Traubeneiche und Weißtanne vor. Die Baumarteneignungskarten sind nur für standortskartierte öffentliche Waldflächen verfügbar, Vulnerabilitätskarten für alle Waldflächen, auf denen diese vier Hauptbaumarten aktuell vorkommen.

Die Beurteilung der Baumarteneignung bzw. Vulnerabilität erfolgte anhand der Kriterien: Konkurrenz, Pfleglichkeit, Stabilität und Leistung. Innerhalb der Kriterien wurden wiederum einzelne Faktoren wie z.B. Anfälligkeit gegenüber Sturm, Trockenstress, Insekten etc. unterschieden. Nicht bei allen Kriterien konnten die einzelnen Faktoren mit Hilfe von Modellberechnungen beurteilt werden. Für einige Faktoren zur Beurteilung der künftigen Baumarteneignung wurde eine statische Einschätzung vorgenommen, beispielsweise bei den Konkurrenzverhältnissen. Insbesondere im Bereich des Kriteriums Stabilität konnten mit Modellberechnungen Prognosen über die künftige Eignung erstellt werden.

Abb. 1 zeigt für die verschiedenen Kriterien die einzelnen Faktoren, für die eine Modellierung vorgenommen wurde. Diese sind dort farblich (violett) hervorgehoben. So z.B. der Trockenstress (Wasserhaushaltsmodell LWF-Brook 90), die Sturmgefährdung (Sturmrisikomodell), die Änderung der Bonitäten (Bonitäten), das Befallsrisiko durch Insekten (PHENIPS zur Buchdruckerrisikoabschätzung) und die Änderung der Artverbreitung (Artverbreitungsmodelle). Die Ergebnisse dieser Teilmodelle werden in den Folgebeiträgen einzeln detailliert dargestellt. Hier erfolgt die Präsentation der aggregierten Gesamtergebnisse.

Grundlagen und Konzept

Die Baumarteneignungskarten wurden in einer Horizontalauflösung von 62,5 m für die mittlere (2021-2050) und ferne Zukunft (2071-2100) und für die Klimaszenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 erstellt. Diese aktuellen Szenarien des Weltklimarats (IPCC, 2013) stellen die mögliche Klimaentwicklung unter verschiedenen Annahmen zur globalen Entwicklung dar. Das Szenario 8.5 ist das extremste, pessimistische und derzeit realistische Szenario. Dagegen wird in Szenario 4.5 angenommen, dass spätestens Mitte des 21. Jahrhunderts wirksam durch Klimaschutzmaßnahmen gegengesteuert wird.

Vulnerabilitäts- und Baumarteneignungskarten ergänzen sich. Die Vulnerabilitätskarte identifiziert im ersten Schritt die gegenwärtig am stärksten gefährdeten Wälder als prioritäre Ansatzpunkte, an denen dann im zweiten Schritt Anpassungsmaßnahmen bzw. Waldumbau durchgeführt werden können. Die Beurteilung der Baumarteneignung ist dabei eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die Baumartenwahl.

Baumarteneignung 2.0

Die Baumarteneignungskarten 2.0 sind klimadynamisch konzipiert, d.h. sie stufen die vier genannten Hauptbaumarten hinsichtlich ihrer forstlichen Anbaueignung unter sich ändernden Klima- und Umweltbedingungen ein. Sie wurden als waldbauliche Entscheidungshilfe für die Baumartenwahl erstellt und dienen damit der langfristigen Waldentwicklungsplanung (> 10 Jahre). Die Logik ist eine Potentialbetrachtung. Die Karten eignen sich daher für Baumartenvergleiche quasi „auf der grünen Wiese“ – die aktuelle Bestockungssituation bleibt dabei unberücksichtigt. Die Darstellung der klimadynamischen Baumarteneignung erfolgt in Ampelfarben abgestuft in sieben

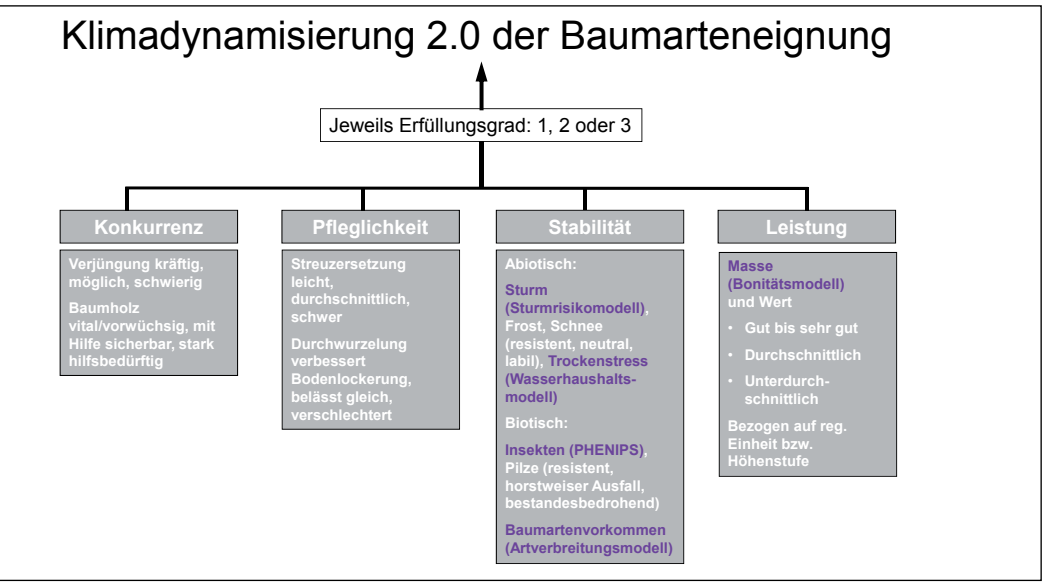


Abb. 1: Schema der dynamisierten Einschätzung der Baumarteneignung im Klimawandel. Unter den vier Kriterien Konkurrenz, Pfleglichkeit, Stabilität und Leistung sind die einzelnen beurteilten Faktoren genannt. Farblich violett hervorgehobene Faktoren werden im weiterentwickleten Verfahren (2.0) nun klimadynamisch abgebildet. Alle anderen Faktoren entstammen dem bisher etablierten Verfahren zur Beurteilung der Baumarteneignung nach Aldinger und Michiels (1997).

Klassen von geeignet bis ungeeignet. Die Klassenbildung fügt sich damit nahtlos in das in der Forstlichen Standortskartierung in Baden-Württemberg praktizierte Verfahren zur Beurteilung der Baumarteneignung ein (Aldinger und Michiels, 1997).

Die Modellgeneration 2.0 ist eine methodische Weiterentwicklung der 2010 veröffentlichten ersten Klima-/Baumarteneignungskarten der FVA. Die Bewertung der aktuellen Ausgangssituation beruht dabei auch weiterhin auf den statischen Einstufungen der forstlichen Standortskartierung. Grundsätzlich neu ist, dass die bezüglich Klimawandel dynamisierten Beurteilungen zu einem multikriteriellen Verfahren weiterentwickelt wurden. Berücksichtigt wird nicht mehr nur die Veränderung eines isolierten Faktors („monokriteriell“) sondern simultane Veränderungen verschiedener Faktoren. Das bedeutet, dass nun zusätzlich zu den bereits 2010 einbezogenen Verbreitungsmodellen der Baumarten in Abhängigkeit von Temperatur und Niederschlag folgende modellierte Eignungskriterien hinzutreten: Veränderungen von Bodenwasserhaushalt, Borkenkäferrisiko sowie Sturmrisiko und Wuchsleistung. Abb. 1 zeigt, wie diese Eignungskriterien in die dynamisierte Gesamtbeurteilung einfließen.

Die Methoden zur Zusammenführung der einzelnen Beurteilungskriterien zu einer konsolidierten Gesamtbeurteilung werden im Beitrag „Multikriterielle Bewertungen“. beschrieben.

Tab. 1: Stufen der Baumarteneignung und die waldbauliche Interpretation der vier Hauptstufen.

Eignungsstufe	waldbauliche Interpretation
geeignet	keine standortsbedingten Einschränkungen für Anbau und Bewirtschaftung der Baumart
geeignet bis möglich	
möglich	Bewirtschaftung als führende Baumart ist unter Beachtung von Einschränkungen möglich
möglich bis wenig geeignet	
wenig geeignet	Baumart nur als Beimischung mit einem Anteil von nicht mehr als 20-30%
wenig geeignet bis ungeeignet	
ungeeignet	Baumart sollte allenfalls einzeln beigemischt werden oder als Zeitmischung vorhanden sein

Vulnerabilitätskarten

Die Vulnerabilitätskarten sind ein neues Produkt der Klimafolgenforschung an der FVA. Sie stellen dar, wie stark heutige Waldbestände durch vor allem klimawandeltypische Mortalitätsrisiken gefährdet sind. Die Karten sind zur Unterstützung der kurz- und mittelfristigen Waldbauplanung (1-10 Jahre) gedacht. Sie identifizieren die aktuell besonders gefährdeten Bereiche, in denen zielgerichtete Anpassungsmaßnahmen wie beispielsweise Verjüngungsplanung prioritär ansetzen sollten. Die in Gelb-Brauntönen gehaltenen Karten stellen dazu die Vulnerabilitäten in vier Klassen von sehr gering bis sehr hoch dar. In Ergänzung zur Potentialbetrachtung der Baumarteneignungskarten liefern die Vulnerabilitätskarten eine konkrete (in-situ) Gefährdungsbeurteilung der real existierenden Bestände. Auch den Vulnerabilitätskarten liegt ein multikriterielles Verfahren zugrunde, das die klimawandelbedingte Gefährdung durch simultane Bewertung mehrerer Risiken errechnet.

Die Vulnerabilitätskarten wurden in einer Horizontalauflösung von 250 m erstellt und liegen für die heute aktuellen klimatischen Verhältnisse vor. Die Methoden zur Berechnung des

Vulnerabilitätsindex werden im Beitrag „Multikriterielle Bewertungen“ beschrieben.

Ergebnisse der Baumarteneignung 2.0

Die Kombination aus herkömmlicher Standortskartierung und modellbasierter Einschätzung der klimadynamischen Eignungskriterien liefert im Endergebnis die Einschätzung der Baumarteneignung im Klimawandel, unter Berücksichtigung waldbaulicher und standortskundlicher Erfahrungen. Dabei werden die Klassenausprägungen der vier Hauptstufen der Eignung für praktische Zwecke in der Forsteinrichtung und Waldbauplanung folgendermaßen interpretiert (Tabelle 1).

Ab der Eignungsstufe „möglich bis wenig geeignet“ und schlechter wird die Verwendung einer Baumart als führende Baumart nicht mehr empfohlen. Die Bedeutungen der Hauptstufen sind mit der Modellversion 1.0 der Baumarteneignung aus dem Jahr 2010 identisch. Hierzu sind mehr Informationen unter Michiels (2011) und Hanewinkel et al. (2014) einsehbar.

Betrachtet man die landesweiten Baumarteneignungskarten unter dem RCP-Szenario 8.5 für die ferne Zukunft (2071-2100), sind bei Buche zwar die mittleren Eignungsstufen (gelbliche und fahlgrüne Farbtöne) prägend (Abb. 2, eine Übersicht und geografische Einordnung der Wuchsgebiete findet sich in Abb. 4). Allerdings fallen bei näherer Betrachtung im Bereich Oberrheintal, Baar-Wutach, Schwäbisch-Fränkischer Wald und Teilen des Südwestdeutschen Alpenvorlands für die Buche ungeeignete (rote) Flächen auf. Für Eiche ungeeignete Flächen sind vor allem im Schwarzwald, dem Schwäbisch-Fränkischen Wald und an der Südostgrenze der Schwäbischen Alb lokalisiert.

Im Vergleich zu den Laubbaumarten fällt die Eignungsbeurteilung der Nadelbaumarten insgesamt noch deutlich schlechter aus: In der fernen Zukunft (RCP 8.5) erscheint nach dieser Betrachtung Tanne selbst im Schwarzwald, im Schwäbisch-Fränkischen Wald und in Teilen des südwestdeutschen Alpenvorlands nur noch in geringem Umfang als führende Baumart geeignet. Und bei Fichte werden selbst die mittleren Eignungsstufen so rar, dass die Baumart bei diesem Szenario landesweit als führende Baumart ausfällt und nur noch als Einzel- oder Zeitmischung sinnvoll planbar wäre.

In der Gesamtbilanzierung für die standortskartierte Waldfläche in Baden-Württemberg (Abb. 3) zeigen

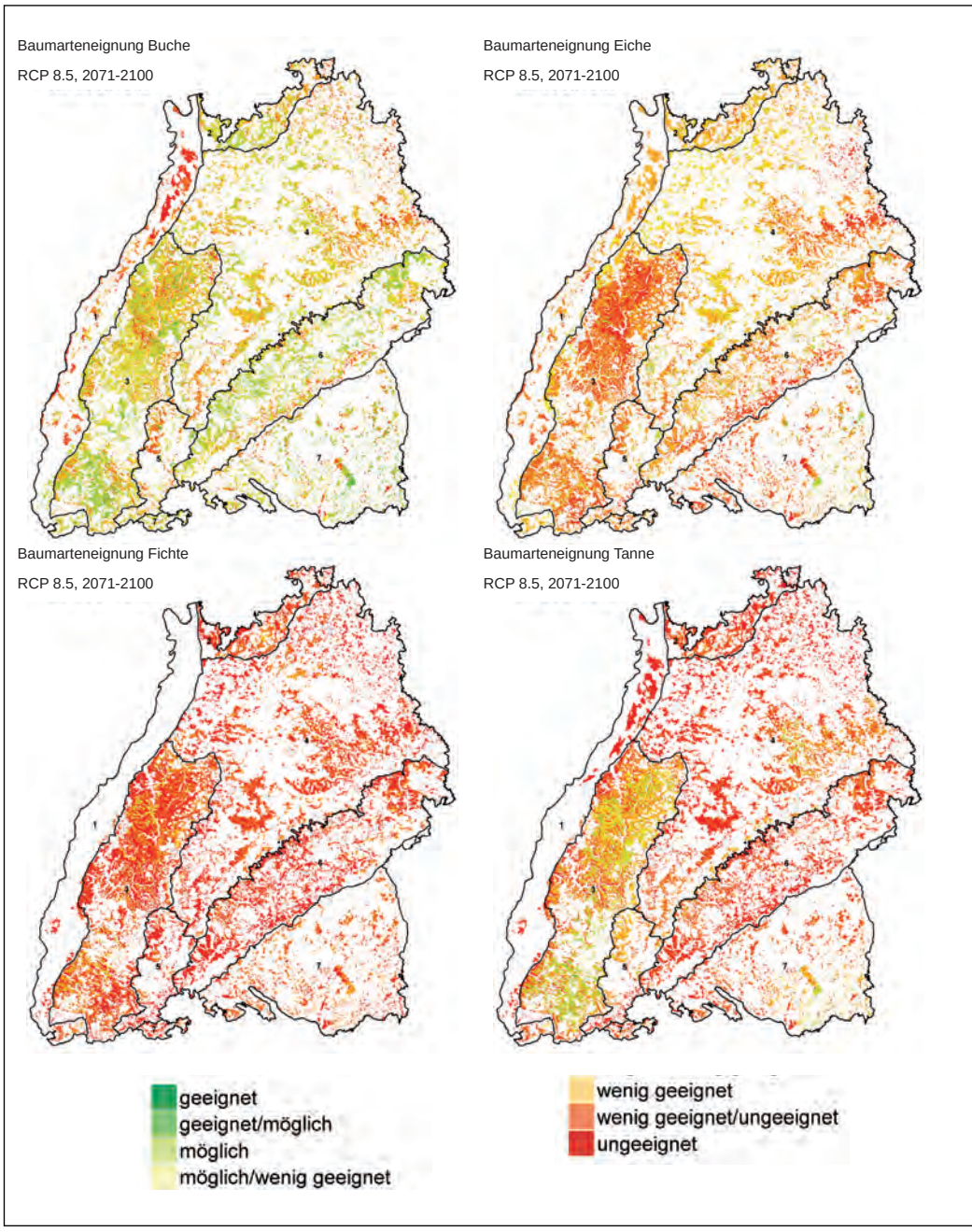


Abb. 2: Baumarteneignungskarten für die vier beurteilten Baumarten und das RCP-Szenario 8.5 für die ferne Zukunft (Bezugszeitraum „Ende des 21. Jahrhunderts“).

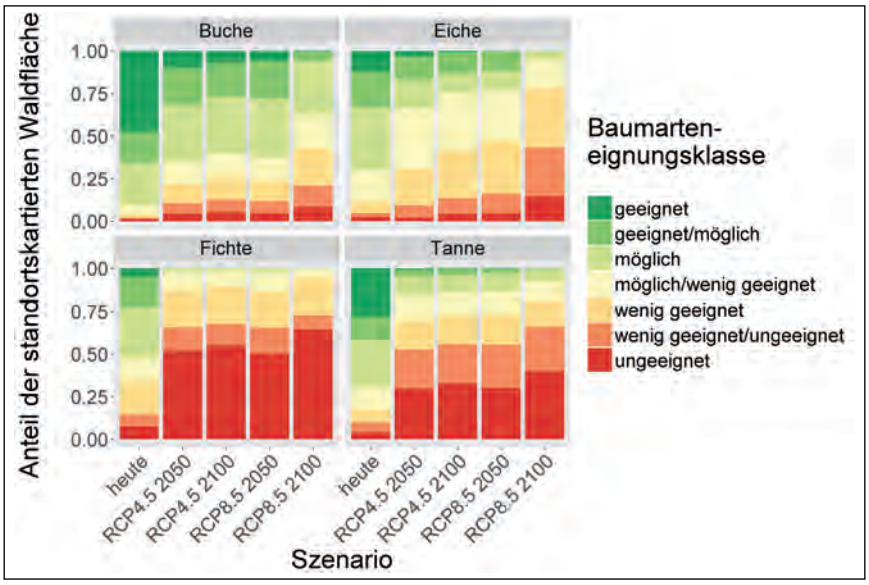


Abb. 3: Gesamtbilanzierung der Baumarteneignung 2.0, bezogen auf die standortskartierte Fläche der jeweiligen Baumart. Die Säulengrafiken zeigen je Baumart ausgehend vom heutigen Zustand die Veränderungen für zwei RCP-Szenarien und zwei Bezugszeiträume.

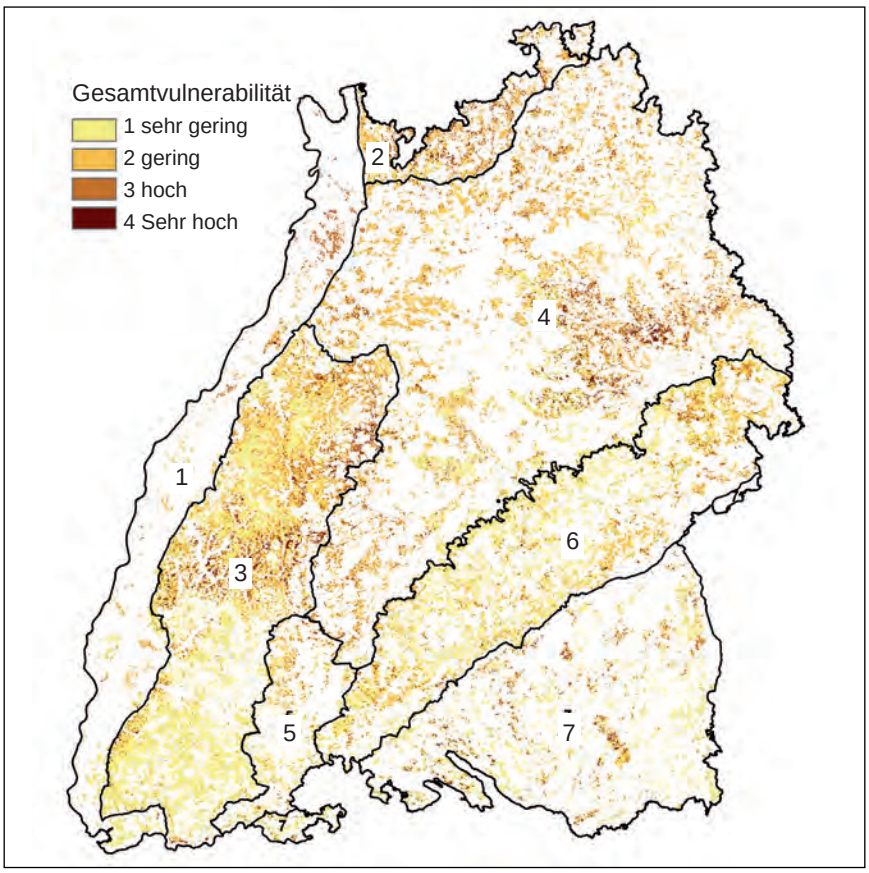


Abb. 4: Vulnerabilität für die Wuchsgebiete: 1 = Oberrheinisches Tiefland, 2 = Odenwald, 3 = Schwarzwald, 4 = Neckarland, 5 = Baar-Wutach, 6 = Schwäbische Alb, 7 = Südwestdeutsches Alpenvorland. Dargestellt sind nur die Hauptbaumarten Fichte, Buche, Tanne und Traubeneiche.

sich für alle Baumarten deutlich abnehmende Flächenanteile der günstigen Eignungsstufen „geeignet“ bis „möglich“. Betrachtet man die Eignung in Szenario 8.5 zum Ende des 20. Jahrhunderts, so ist die Planung von Buche als führende Baumart noch auf ca. 35 % der Fläche möglich. Bei Eiche und Tanne liegt dieser Wert unter 10 %.

Die im Vergleich zu Buche ungünstigere Eignungsbeurteilung von Eiche hat eine wesentliche Ursache in der Beurteilung der Konkurrenzkraft. Tatsächlich wird Eiche – im Einklang mit den gegenwärtigen Verhältnissen - im heutigen Ausgangszustand von der standortskundlichen Bewertung her als deutlich konkurrenzschwächer eingestuft. Momentan ist es jedoch aus methodischen Gründen leider nicht möglich, klimabedingte Verschiebungen in der Konkurrenzkraft zwischen Baumarten modellbasiert abzubilden. Die Einschätzung des aktuellen, für Eiche vergleichsweise ungünstigen Ausgangszustandes hinsichtlich der Konkurrenzkraft der Baumart bleibt daher auch für die Zukunftsszenarien unverändert in der Beurteilung erhalten.

Ergebnisse der Vulnerabilität

Die Vulnerabilitätskarte weist für die heutigen Bestände regionale Schwerpunkte mit besonders hoher Vulnerabilität im mittleren Schwarzwald, im nördlichen Oberrheingraben, im Odenwald sowie im Schwäbisch-Fränkischen Wald (in Wuchsgebiet 4) auf (Abb. 4). Zerstreut sind hohe Vulnerabilitäten auch auf der Schwäbischen Alb und im Südwestdeutschen Alpenvorland zu finden.

Wälder, die in die höchste Vulnerabilitätsklasse 4 eingestuft wurden, bilden prioritäre Ansatzpunkte für Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Hier kommen einer oder gleichzeitig mehrere Risikofaktoren so stark zum Tragen, dass die dort aktuell prägende Hauptbaumart als instabil bis hochgradig störungsan-

fällig einzustufen ist (Tabelle 2). Dies trifft auf ca. 5 % (rd. 42.000 ha) der beurteilten Waldfläche zu.
Wälder, die in die zweithöchste Vulnerabilitätsklasse 3 eingestuft wurden (9 % der beurteilten Waldfläche bzw. 77.700 ha), sollten zwar ebenso angepasst bzw. umgebaut werden, aufgrund der etwas geringeren Vulnerabilität ist hier der Anpassungsbedarf jedoch noch nicht ganz so akut.

Verfügbarkeit der Karten

Die Karten der Baumarteneignung und der Vulnerabilität sind in digitaler Form als pdf-Dateien je Land- bzw. Stadtkreis allgemein zugänglich. http://www.klimakarten.fva-bw.de. Ab Herbst 2019 werden auch die einzelnen Karten der Teilmodelle als Fachlayer in einem digitalen Geoportal (Geodatenviewer) zur Verfügung stehen.
Die Eignungsbeurteilung anderer als der vier hier dargestellten Baumarten ist bisher noch nicht standortsspezifisch abgeschlossen. Bislang liegt lediglich ein systematischer literaturbasierter Vergleich in Form der Artensteckbriefe der FVA vor (Avila und Albrecht, 2018). Die hier geprüften Arten wurden mithilfe einer multikriteriellen Analyse in eine Rangfolge möglicher Eignung unter Klimawandel gebracht, die jedoch erst eine nicht-standortsdifferenzierte Grobeinschätzung allgemeiner Eignung darstellt (Albrecht und Avila, 2019).

Ausblick

Sowohl die Einstufung der realen Vulnerabilität, als auch der potentiellen Baumarteneignung unter sich ändernden Klimabedingungen liefern klare Ergebnisse:

- Die Wälder sind bereits heute so stark vom Klimawandel betroffen, dass in den besonders vulnerablen Bereichen Anpassungsmaßnahmen vorgenommen werden müssen. Die Vulnerabilitätskarten sind hierfür ein erster Wegweiser, verorten die betroffenen Waldflächen, und legen mittelfristig prioritären Anpassungsbedarf auf über 100.000 ha Fläche nahe.
- Bei allen vier beurteilten Hauptbaumarten ist mittel- bis langfristig grundsätzlich eine deutliche Verschlechterung der Eignungsbeurteilung zu konstatieren. Ein klarer Hinweis darauf, dass hinsichtlich der Baumartenzusammensetzung der Wälder im Südwesten erhebliche Veränderungen unausweichlich sein dürften.

Diese Folgerungen ergeben sich für das RCP-Szenario 8.5 mehr als deutlich – dessen Eintreten bei Beibehaltung der aktuellen Entwicklungen leider eher wahrscheinlich ist. Realistischer Weise sind auch unter Szenario 4.5 entsprechende Folgen zu erwarten, wenn auch in leicht abgeschwächter Form. Insbesondere die Buche fände dann noch etwas günstigere Bedingungen vor. Ergebnis aller Szenarien ist allerdings, dass die baden-württembergischen Charakterbaumarten Buche und Tanne in bewirtschafteten Wäldern gegen Ende des 21. Jahrhunderts keine so dominierende Rolle wie bislang

Abb. 5: Bisher dominieren Buchenwälder die potentielle natürliche Vegetation. Wohin geht die Entwicklung?

Tab. 2: Flächenbelegung der Gesamtvulnerabilitätsklassen und deren waldbauliche Interpretation.

Klasse	Name	Interpretation	Betroffene Fläche [%]	Betroffene Fläche [ha]
4	sehr hoch	umgehend umbaudringlich	5.0%	42.673
3	hoch	mittelfristig umbaudringlich	9.0%	77.698
2	gering	wenig vulnerabel, Baumartenanteile sukzessive zugunsten besser geeigneter Baumarten anpassen	41.5%	356.360
1	sehr gering	nicht vulnerabel	44.5%	382.959
		Beurteilte Gesamtfläche		859.690

Abb. 6: Andere Baumarten? Nicht nur das Klima, auch der Wald ist im Wandel.

mehr einnehmen können.
Die neu vorgelegten Ergebnisse zeigen in aller Deutlichkeit: da kommt etwas auf uns zu. Deshalb heißt es, die erforderlichen Anpassungsmaßnahmen einzuleiten. Der beste Zeitpunkt, um damit zu beginnen ist: jetzt! Klar ist dabei, dass die Veränderungen so gravierend sind, dass eine unrevidierte Fortsetzung der waldbaulichen Konzepte der Vergangenheit nicht zielführend sein wird. Zwar muss das waldbauliche Rad bestimmt nicht grundsätzlich neu erfunden werden. Aber wenn sich die Umwelt markant ändert, werden sich auch einige Elemente des naturnahen Waldbaus heutiger Ausprägung weiterentwickeln müssen.
Ein Blick über den forstlichen Tellerrand zeigt allerdings, dass die sich unter dem RCP-Szenario 8.5 für die Wälder im Südwesten ergebenden gravierenden Herausforderungen in gesamtgesellschaftlicher Hinsicht wohl zu den eher nachrangingen und zumindest teilweise lösbaren Problemen zählen werden. Tatsächlich fallen die sich aus dem Szenario 8.5 ergebenden globalen Konsequenzen für die Weltbevölkerung so drastisch aus (Trinkwasser, Ernährung, Gesundheit; IPCC, 2014), dass man sich deren Auswirkungen auch auf Baden-Württemberg nicht vorstellen möchte. Als Gesellschaft sollten wir alles daran setzen, damit dieses Szenario nicht eintritt.

Dr. Axel Albrecht
FVA, Abteilung Waldwachstum
Tel.: (07 61) 40 18 - 7 51
axel.albrecht@forst.bwl.de

Literatur

Albrecht, A., Avila, A. L. de, 2019. Ein Vorschlag zur literaturbasierten Ermittlung möglicher Alternativbaumarten im Klimawandel am Beispiel der Artensteckbriefe in Baden-Württemberg. Allgemeine Forst und Jagdzeitung 189, S.129-143

Aldinger, E., Michiels, H.-G., 1997. Baumarteneignung in der forstlichen Standortskartierung Baden-Württemberg. AFZ - Der Wald 5, S. 234-238

Avila, A. L. de, Albrecht, A., 2018. Alternative Baumarten im Klimawandel: Artensteckbriefe - eine Stoffsammlung. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. 124 Seiten.

Hanewinkel, M., Cullmann, D., Michiels, H.-G., Kändler, G., 2014. Converting probabilistic tree species range shift projections into meaningful classes for management. Journal of Environmental Management 134, S. 153-165.

IPCC, 2013. Summary for Policymakers. In: Stocker, T., Qin, D., Plattner, G., Tignor, M., Allen, S., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. (Eds.), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC, 2014. Summary for policymakers. In: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L. (Eds.), Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY,, S. 1-32.

Michiels, H.-G., 2011. Abschlussbericht zur dynamischen Baumarteneignungsbeurteilung. FVA, Projektbericht, unveröffentlicht.

Verfahren Multikriterieller Bewertungen - Baumarteneigung 2.0 und Vulnerabilitätn

von Dominik Cullmann

Baumarteneignung 2.0 und Vulnerabilität sind abstrakte Konzepte: sie können im Wald nicht gemessen werden. Zwischen gemessenen Vorhersage- und Zielgrößen werden Zusammenhänge mittels mathematisch-statistischer Methoden modelliert. Folgende Wirkmodelle kommen dabei zum Einsatz:

- **LWF-Brook90 („Wasserhaushalt und Trockenstress“),**
- **Sturm („Berechnung des Sturmrisikos“),**
- **Bonität („Bonitäten: Dynamischer als gedacht“),**
- **PHENIPS („Abschätzung des Buchdruckerrisikos“) und**
- **Artverbreitung („Klimasensitive Artverbreitungsmodelle“).**

Die Güte solcher Modelle kann im Rahmen einer Analyse bewerten werden ((Hanewinkel u. a. 2014), Abschnitt 5.4).

Die Baumarteneignung 2.0 und die Vulnerabilität hingegen entstehen durch Experteneinschätzungen. Um sie zu formalisieren werden Verfahren aus der Klasse der gerichteten azyklischen Graphen (Thulasiraman und Swamy 1992) verwendet: Entscheidungsbäume für die Baumarteneignung 2.0 und ein Bayessches Netz (Nielsen und Jensen 2009) für die Vulnerabilität. Experteneinschätzungen können anders als die Wirkmodelle nicht mit statistischen Gütemaßen bewerten werden. Sie sollten einer Begutachtung, wie sie bei (Marcot 2006) beschrieben wird, unterzogen werden.

Die Baumarteneignung 2.0

Bei der Baumarteneignung der Forstlichen Standortskartierung (Aldinger und Michiels 1997) werden im Gelände durch die kartierende Person die Kriterien Konkurrenzkraft, Pfleglichkeit, Stabilität und Leistung mit den Kennziffern eins bis drei für gut bis schlecht bewertet. Anschließend werden diese in einem Expertensystem zur Baumarteneignung verrechnet (siehe Abb. 1).

Die Ergebnisse der Wirkmodelle modifizieren die Kennziffern der Kriterien Stabilität und Leistung und damit die Baumarteneignung zur Baumarteneignung 2.0. Die Kriterien Konkurrenzkraft und Pfleglichkeit werden nicht dynamisiert (siehe Abb. 2).

Die Baumarteneignung 2.0 wird - aus den nun teilweise modifizierten Kennziffern - analog zur Baumarteneignung der Forstlichen Standortskartierung (Aldinger und Michiels 1997) berechnet. Lediglich für die jetzt fünf Werte, anstelle der bisherigen drei Werte, der Stabilitätsziffer bedarf es kleiner Korrekturen.

Zur Modifikation der Kennziffern Stabilität und Leistung werden die Wirkmodellergebnisse in die Risikoklassen 0, I und II eingeteilt. 0 entspricht dabei keinem Risiko; I steht für mittleres und II bedeutet hohes Risiko. Bei den Artverbreitungsmodellen erfolgt die Einteilung in 4 Eignungs-

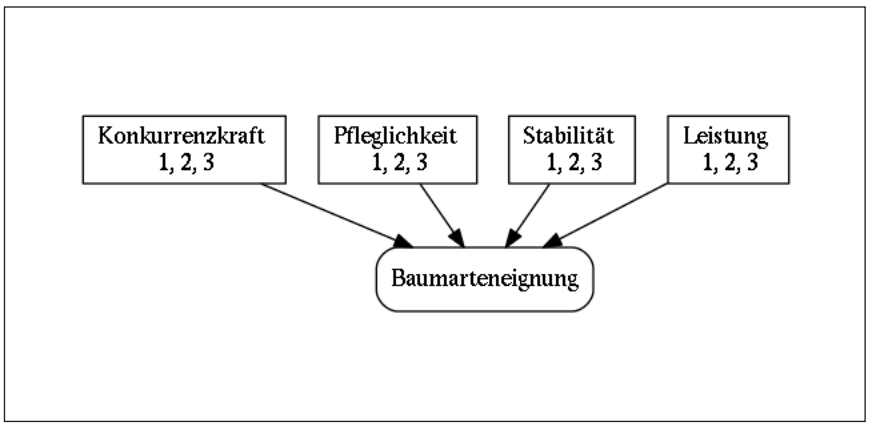


Abb. 1: Kriterien der Baumarteneignungsbewertung.

Tab. 1: Relative Häufigkeiten (in Prozent, an der jeweiligen Gesamtfläche) der Risikoklassen für die Fichte im RCP 4.5.

Fichte	Risiko 0	Risiko I	Risiko II
LWF-Brook90, ferne Zukunft	54.4	33.2	12.4
LWF-Brook90, nahe Zukunft	56.9	31.1	12.0
Phenips, ferne Zukunft	25.6	30.0	44.4
Phenips, nahe Zukunft	33.0	51.6	15.4
Sturm, ferne Zukunft	18.0	44.8	37.2
Sturm, nahe Zukunft	18.0	44.8	37.2
Artverbreitung, ferne Zukunft	0.0	0.3	99.7
Artverbreitung, nahe Zukunft	0.0	0.7	99.3

Tab. 2: Relative Häufigkeiten (in Prozent, an der jeweiligen Gesamtfläche) der Risikoklassen für die Buche im RCP 4.5.

Buche	Risiko 0	Risiko I	Risiko II
LWF-Brook90, ferne Zukunft	53.8	33.4	12.8
LWF-Brook90, nahe Zukunft	56.3	31.2	12.4
Sturm, ferne Zukunft	99.9	0.1	0.0
Sturm, nahe Zukunft	99.9	0.1	0.0
Artverbreitung, ferne Zukunft	36.7	51.1	12.2
Artverbreitung, nahe Zukunft	50.7	43.9	5.3

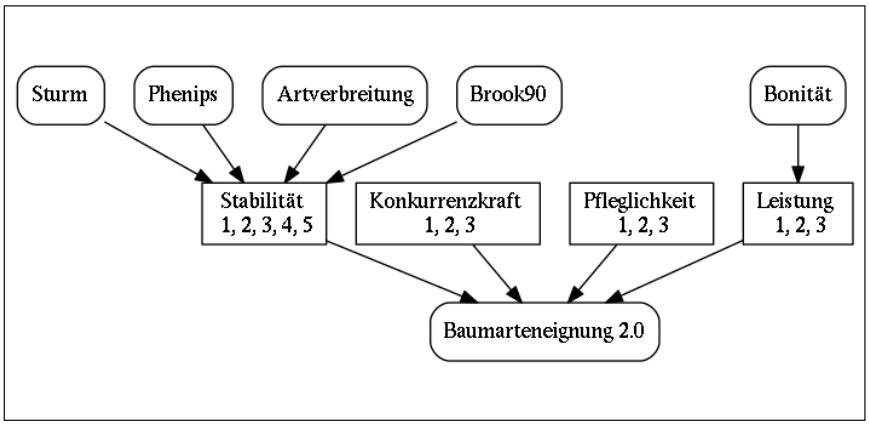


Abb. 2: Einfluss der Wirkmodelle auf die Baumarteneignung 2.0.

klassen. Die Einteilung der Eignungsklassen zu den Risikoklassen ist folgende: Eignungsklassen 3 und 4 bilden die Risikoklasse 0, die Eignungsklasse 2 die Risikoklasse I und die Eignungsklasse 1 entspricht der Risikoklasse II. Die Einteilung der anderen vier Wirkmodellergebnisse erfolgt mit gutachtlich festgelegten Schwellenwerten.

Dynamisierung der Stabilitätsziffer

In die Stabilitätsziffer fließen die Ergebnisse von PHENIPS, LWF-Brook90, der Artverbreitung und dem Sturmmodell ein. Da die Artverbreitung andere Zeiträume als die übrigen Wirkmodelle beschreibt (siehe „Klimasensitive Artverbreitungsmodelle“), werden hier die Zeiträume 2021 bis 2050 und 2041 bis 2060 zur nahen und die Zeiträume 2061 bis 2080 und 2071 bis 2100 zur fernen Zukunft zusammengefasst.
Im Folgenden werden beispielhaft für die Fichte und die Buche die Verteilung und Entwicklung der Risikoklassen für die 4 Wirkmodellergebnisse dargestellt. Für die Klimaprognose wurde der repräsentative Konzentrationspfad (representative concentration pathway, RCP) 4.5 verwendet. Das verwendete Sturmmodell kann nicht auf die Klimaänderung zwischen naher und ferner Zukunft reagieren (siehe „Berechnung des Sturmrisikos“). Für die Fichte reagiert die Artverbreitung kaum noch, da sie schon in der nahen Zukunft fast nur die Risikoklasse II ausweist. Das Wasserhaushaltsmodell LWF-Brook90 reagiert verhalten. Einzig beim Borkenkäfermodell PHENIPS verändert sich die Risikoklassenbelegung merklich (siehe Tab. 1).
Für die Baumart Buche entfällt das Borkenkäfermodell PHENIPS, die Artverbreitung reagiert deutlich auf die klimatischen Unterschiede, das Wasserhaushaltsmodell LWF-Brook90 reagiert weiterhin kaum (siehe Tab. 2).
Die Dynamisierung der Stabilitätsziffer erfolgt baumartenspezifisch. Der Entscheidungsbaum für die Buche wird in Abb. 3 dargestellt.
Die neue Stabilitätsziffer kennt also 5 statt bislang 3 Stufen. In dem Entscheidungsbaum bezeichnet WME die Wirkmodellergebnisse. Wenn also mindestens zwei Wirkmodellergebnisse in die Risikoklasse II fallen oder eines in die Risikoklasse II und mindestens eines in Risikoklasse I fällt, wird die Stabilitätsziffer nach den roten Pfaden auf 4 oder 5 gesetzt. Fallen alle Wirkmodellergebnisse in die Risikoklasse 0, so folgt die Stabilitätsziffer den grünen Pfaden. „Ausgangswert“ bezeichnet dabei die Stabilitätsziffer aus der bisherigen Baumarteneignung ohne die Verwendung von Wirkmodellen.

Dynamisierung der Leistungsziffer

Die Leistungsziffer wird durch die modellierte Bonität modifiziert. Die Modellierung erfolgt für die Baumarten Buche, Traubeneiche, Fichte und Tanne.
Die Risikoklasse 0 entspricht einer modellierten Bonitätssteigerung von mehr als 10%, die Risikoklasse II einem modellierten Bonitätsverlust von mehr als 10%, die Risikoklasse I nimmt den Bereich zwischen plus und minus 10% Bonitätsänderung ein. Für den RCP 4.5 ergeben sich die Häufigkeiten in Tab. 3.
Der Entscheidungsbaum zur Ableitung der Leistungsziffer ist für alle Baumarten identisch. Das Risiko entspricht dabei den erläuterten Risikoklassen aus der modellierten Bonität. Der Ausgangswert entspricht der bisherigen Leistungsbewertung durch die forstliche Standortskartierung.
Die Leistungsziffer wird, im Rahmen der Werte 1 bis 3, für die Risikoklasse 0 um den Wert 1 verbessert, für die Risikoklasse II um den Wert 1 verschlechtert, für die Risikoklasse I wird er unverändert beibehalten.

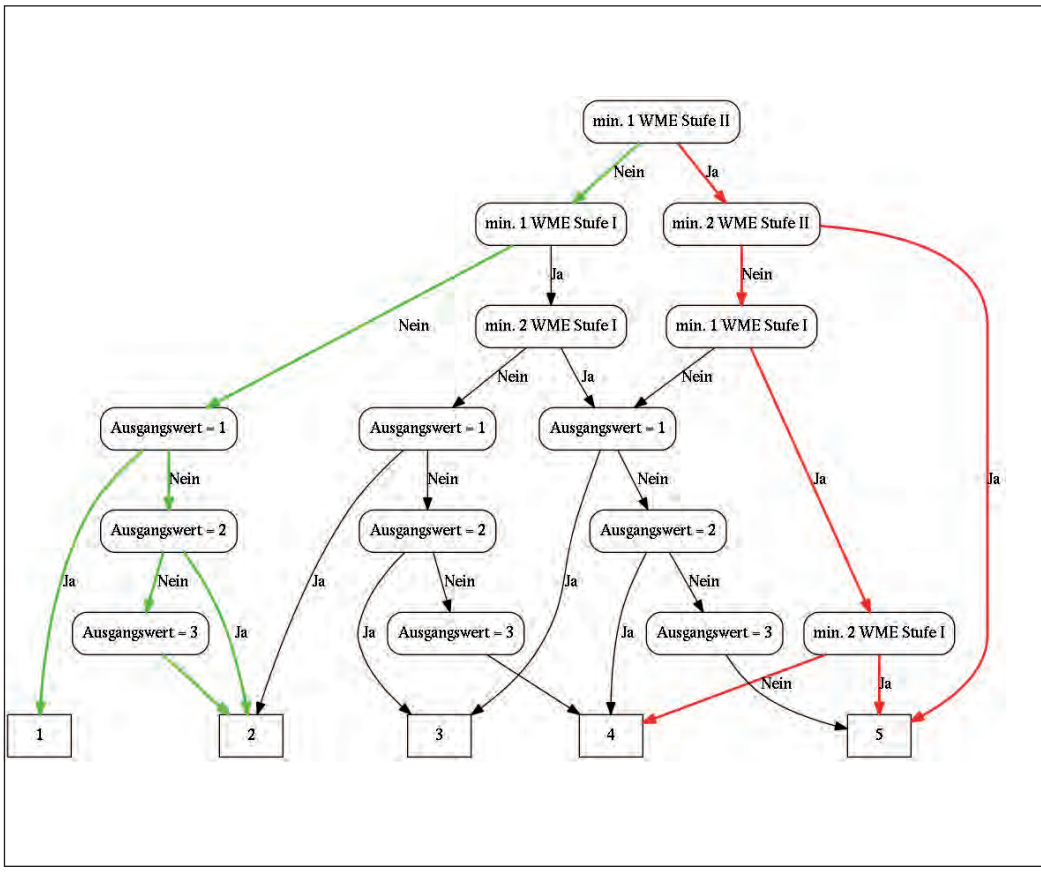


Abb. 3: Entscheidungsbaum zur Herleitung der Stabilitätsziffer am Beispiel der Buche, WME= Wirkmodellergebnis, Ausgangswert= Stabilitätsziffer aus der Forstlichen Standortskartierung.

Ausgabe als Baumarten-eignungskarte 2.0

Ausgabe sind Karten als Raster je Hauptbaumart - Buche, Tanne, Fichte und Traubeneiche -, RCP - 4.5 und 8.5 - und Zukunftszeitraum - nah und fern -, insgesamt also 16 Karten mit einer Auflösung von 250 Metern. Sie überdecken den standortkartierten Wald in Baden-Württemberg.

Die Vulnerabilität

In die Vulnerabilität gehen, ausgenommen der Bonitätsveränderung, dieselben Ergebnisse der Wirkmodelle wie bei der Baumartenkartierung 2.0, also von PHENIPS, LWF-

Abb. 4: Absterbende Buchen. (Foto: Reinhold John)

Tab. 3: Relative Häufigkeiten (in Prozent) der Bonitäts-Risikoklassen im RCP 4.5.

	Risiko 0	Risiko I	Risiko II
Buche, nahe Zukunft	0.0	100.0	0.0
Buche, ferne Zukunft	0.0	99.6	0.4
Eiche, nahe Zukunft	0.0	100.0	0.0
Eiche, ferne Zukunft	0.4	99.6	0.0
Fichte, nahe Zukunft	0.0	100.0	0.0
Fichte, ferne Zukunft	0.0	96.0	4.0
Tanne, nahe Zukunft	0.0	100.0	0.0
Tanne, ferne Zukunft	0.0	99.4	0.6

Tab. 4: Relative Häufigkeiten (in Prozent, gerundet, an der jeweiligen Gesamtfläche) der Risikoklassen für die Vulnerabilität. Nur die Artverbreitung weist eine Klasse 3 aus, alle anderen Modelle haben hier Fehlwerte (NA). (0 = sehr gering, 1= gering, 2= hoch, 3 =sehr hoch).

		Risikoklassen			
		0	1	2	3
Artverbreitung	Buche	22.1	70.8	7.1	0.0
	Eiche	16.5	35.6	45.6	2.3
	Fichte	9.0	35.5	37.3	18.2
	Tanne	5.3	35.3	51.8	7.5
LWF-Brook90	Buche	70.4	21.2	8.3	NA
	Eiche	70.4	21.2	8.3	NA
	Fichte	70.8	21.1	8.1	NA
	Tanne	70.8	21.1	8.1	NA
PHENIPS	Fichte	37.1	37.1	25.8	NA
Sturm	Buche	100.0	0.0	0.0	NA
	Eiche	100.0	0.0	0.0	NA
	Fichte	85.6	12.0	2.4	NA
	Tanne	91.9	8.0	0.1	NA

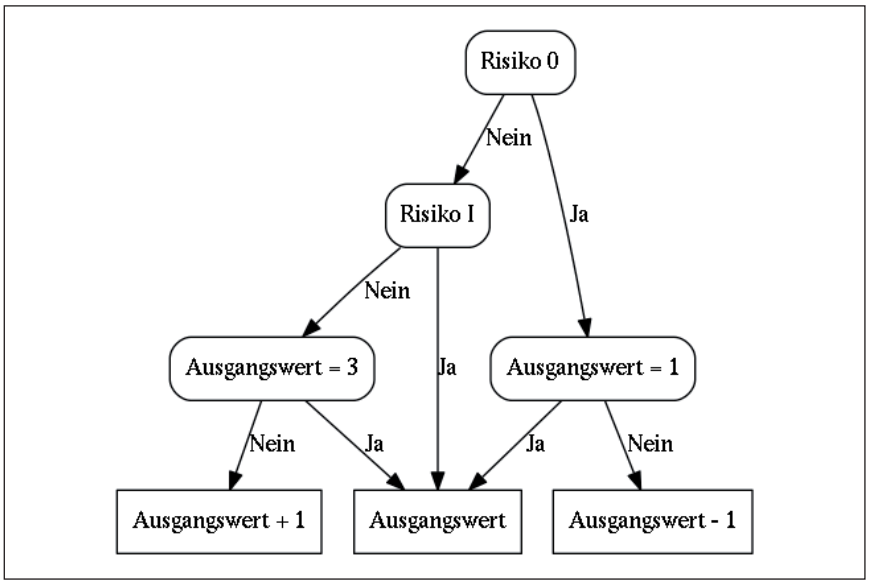


Abb. 5: Entscheidungsbaum zur Herleitung der dynamisierten Leistungsziffer.

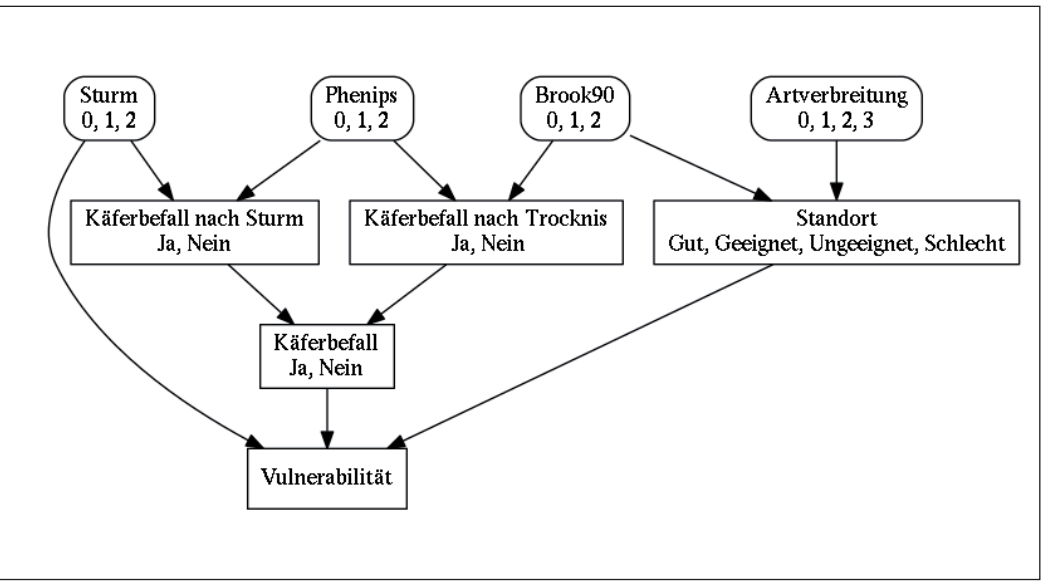


Abb. 6: Bayessches Netz zur Ableitung der Vulnerabilität. Gerundete Formen bezeichnen Wirkmodellergebnisse, Rechtecke Tabellen bedingte Wahrscheinlichkeiten.

Brook90, der Artverbreitung und des Sturmmodells, ein. Diese Ergebnisse werden mit gutachtlich festgelegten Schwellenwerten in die Risikoklassen 0, 1, 2, und 3 eingeteilt, wobei die Zugehörigkeit zu Klasse 0 ein sehr geringes, zu 1 ein geringes, zu 2 ein hohes und zu 3 ein sehr hohes Risiko bedeutet. Beim Artverbreitungsmodell erfolgt die Einteilung umkehrt, analog zu den Eignungsklassen in „Klimasensitive Artverbreitungsmodelle“, die Eignungsklasse 4 (sehr gut) wird zur Risikoklasse 0.

Die Ableitung der Vulnerabilität erfolgt mit einem Bayesschen Netz. Das verwendete Bayessche Netz gleicht einem umgedrehten Entscheidungsbaum.

Einige der Knotenpunkte des Netzes bestehen nicht aus Daten oder einfachen Aussagen, sondern aus Tabellen. In Abb. 6 sind diese als Rechtecke dargestellt. In diesen Tabellen sind für alle Kombinationen der Eingangsknoten Anteile an den Ausgangswerten festgelegt. In Tab. 5 ist der Knotenpunkt der Vulnerabilität dargestellt.

Entscheidend für die Vulnerabilität ist der Standort, wo dieser nicht gut ist, kann die Vulnerabilität nicht minimal sein; wo er nicht mindestens geeig-

net ist, kann sie nicht gering sein; wo er schlecht ist, ist die Vulnerabilität maximal.

Ausgabe der Vulnerabilitätskarte

Da das Sturmmodell zwischen der Sturmgefährdung von Fichten auf vernässten und nicht vernässten Standorten unterscheidet, ergeben sich zu den drei Karten, bzw. Rastern für Buche, Tanne und Traubeneiche zwei für Fichte. Alle Raster liegen mit einer Auflösung von 250 Metern für den Gesamtwald in Baden-Württemberg vor.

Tab. 5: Bedingte Wahrscheinlichkeiten für den Knotenpunkt Vulnerabilität.

# max	hoch	gering	min	Sturm	Käfer	Standort
0	0	1	0	0	Ja	Gut
0	1	0	0	1	Ja	Gut
1	0	0	0	2	Ja	Gut
0	0	0	1	0	Nein	Gut
0	0	1	0	1	Nein	Gut
0	1	0	0	2	Nein	Gut
0	1	0	0	0	Ja	Geeignet
1	0	0	0	1	Ja	Geeignet
1	0	0	0	2	Ja	Geeignet
0	0	1	0	0	Nein	Geeignet
0	1	0	0	1	Nein	Geeignet
1	0	0	0	2	Nein	Geeignet
1	0	0	0	0	Ja	Ungeeignet
1	0	0	0	1	Ja	Ungeeignet
1	0	0	0	2	Ja	Ungeeignet
0	1	0	0	0	Nein	Ungeeignet
1	0	0	0	1	Nein	Ungeeignet
1	0	0	0	2	Nein	Ungeeignet
1	0	0	0	0	Ja	Schlecht
1	0	0	0	1	Ja	Schlecht
1	0	0	0	2	Ja	Schlecht
1	0	0	0	0	Nein	Schlecht
1	0	0	0	1	Nein	Schlecht
1	0	0	0	2	Nein	Schlecht

Dominik Cullmann
FVA, Abteilung Biometrie und Informatik
Tel.: (07 61) 40 18 - 2 04
dominik.cullmann@forst.bwl.de

Literatur

Aldinger, E., Michiels, H.-G. (1997). Baumarteneignung in der forstlichen Standortskartierung Baden-Württemberg. AFZ/Der Wald 52,234-238.

Hanewinkel, M., Cullmann, D., Michiels, H.-G., Kändler, G. (2014). Converting probabilistic tree species range shift projections into meaningful classes for management. Journal of Environmental Management 134. S 153–165. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.010.

Marcot, B. G. (2006). Characterizing species at risk I: modeling rare species under the Northwest Forest Plan. Ecology and Society 11 (2):10. URL: http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss2/art10/

Nielsen, T. D., Jensen, F. V. (2009). Bayesian networks and decision graphs. Springer Science & Business Media. 447 S.

Thulasiraman, K., Swamy, M. N. S. (1992). Graphs: Theory and Algorithms, 5.7 acyclic directed graphs. S.118

Klimasensitive Artverbreitungsmodelle

von Manuel Händel und Dominik Cullmann

Die Verbreitung von Baumarten kann als Funktion von - unter anderem - klimatischen Parametern betrachtet werden. Seit Mitte der 2000er sind klimasensitive Artverbreitungsmodelle weit verbreitet, wenn die Auswirkungen von klimatischen Änderungen auf einzelne Arten untersucht werden sollen.

Die hier verwendeten klimasensitiven Artverbreitungsmodelle wurden an der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt analog zu den in (Hanewinkel u. a. 2013) verwendeten Verfahren entwickelt. Sie sind in (Cullmann 2011) dokumentiert und in (Hanewinkel, Cullmann und Michiels 2010) veröffentlicht.

Artverbreitungsmodelle für die Hauptbaumarten

Um den Einfluss des Klimas auf das Vorkommen einer Baumart zu untersuchen, wird eine möglichst vollständige Überdeckung ihres klimatischen Raumes - also der klimatischen Grenzen, innerhalb deren sie vorkommt, benötigt. Für unsere Hauptbaumarten können diese daher nicht auf Baden-Württemberg oder die Bundesrepublik beschränkt bleiben: Es werden Baumartenvorkommens- und Klimadaten für ganz Europa benötigt. Diese finden sich im Datensatz „Data on Crown Condition of the systematic grid (16 x 16 km)“ aus dem „International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on

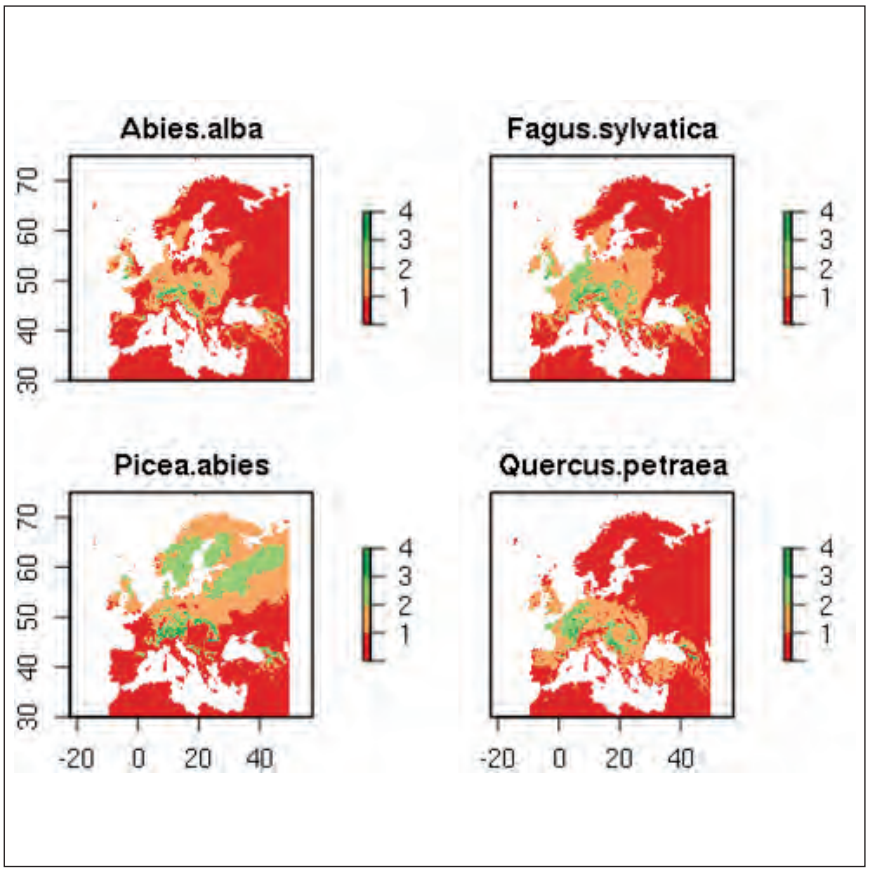


Abb. 1: Aktuelle Eignungsklassen des Klimas für die Baumarten Tanne, Buche, Fichte und Eiche (1= ungeeignet, 2= wenig geeignet, 3 =geeignet, 4 = sehr gut geeignet).

Forests“ und in der WorldClim-Datenbasis (https://www.worldclim.org) (Hijmans u. a. 2005).
Wenn die Ergebnisse mit dem (Hanewinkel u. a. 2014) beschriebenen Verfahren in Klassen eingeteilt werden, entstehen für die Baumarten Buche, Traubeneiche, Tanne und Fichte die in Abb. 1 dargestellten Karten.
Die Karten zeigen, wo sich die Baumarten im derzeitigen europäischen Klima am wohlsten fühlen, nicht wo sie vorkommen.

Zukünftige Szenarien

Für die Szenarien des Weltklimarates bietet der WorldClim-Datensatz für verschiedene globale Zirkulationsmodelle mittlere Prognosen für die Zeiträume 2041 bis 2060 und 2061 bis 2080. Diese Prognosen sind Eingangsdaten zur Anwendung der klimasensitiven Artverbreitungsmodelle für die Prognose der zukünftigen Klimaeignung der Baumarten. Im Folgenden ist beispielhaft die Anwendung des Modells HadGEM2-ES (siehe http://www.worldclim.org/cmip5_30s) auf das klimasensitive Artverbreitungsmodell der Traubeneiche dargestellt.
In der oberen Reihe wird der repräsentative Konzentrationspfad (representative concentration pathway, RCP) 4.5, darunter der RCP 8.5 (siehe „Klimatologische Datengrundlagen“). dargestellt. Die linke Spalte zeigt den Zeitraum von 2041 bis 2060, die rechte den Zeitraum von 2061 bis 2080.
Es zeigt sich deutlich, wie sich die klimatischen Bedingungen für die Traubeneiche verschlechtern. Ihre geeigneten Klimate findet sie im RCP 8.5 in der fernen Zukunft vorwiegend im Norden der Britischen Inseln.

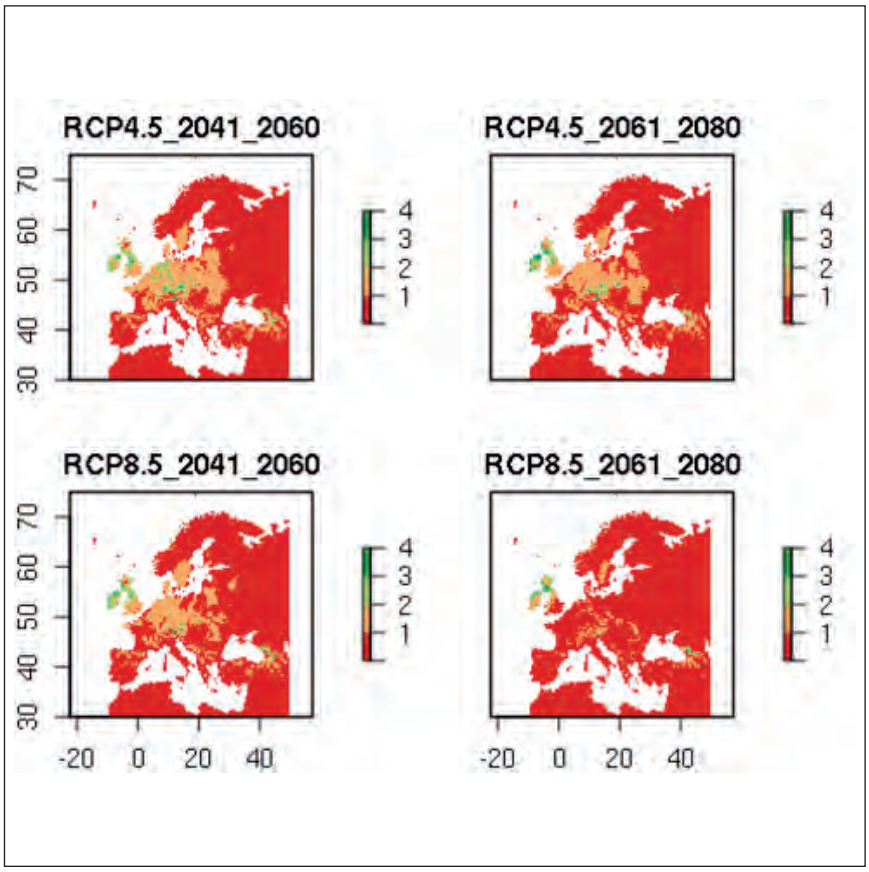


Abb. 2: Veränderung der Eignungsklassen des Klimas für die Traubeneiche, in Abhängigkeit von den RCP-Prognosen und dem Betrachtungszeitraum.

Manuel Händel
FVA, Biometrie und Informatik
Tel.: (07 61) 40 18 - 2 39
manuel.haendel@forst.bwl.de

Literatur

Cullmann, D. (2011) TR-868-TP-mzv. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (interner Bericht).
Hanewinkel, M., Cullmann, D., Michiels, H-G. (2010) Künftige Baumarteneignung für Fichte und Buche in Südwestdeutschland. AFZ-Der Wald 19/2010:30–33.
Hanewinkel, M. u. a. (2014) Converting probabilistic tree species range shift projections into meaningful classes for management. Journal of Environmental Management 134(0):153–165. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479714000140
Hanewinkel, M. u. a. (2013) Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. Nature Climate Change 3(3):203–207.

Wasserhaushalt und Trockenstress von Wäldern: Wohin geht die Reise?

von Heike Puhlmann, Thilo Wolf, Nele Stackelberg, Roland Hoch und Till Hallas

Der Wasserhaushalt ist neben der Nährstoffversorgung ein zentraler Standortfaktor, welcher das Wachstum und die Vitalität von Bäumen und Wäldern bestimmt. Der Wasserhaushalt beeinflusst die Verfügbarkeit der Nährstoffe für die Waldbäume und kann die Prädisposition von Waldbeständen für biotische (z.B. Borkenkäfer) und abiotische (z.B. Windwurf) Schäden erhöhen. Nicht zuletzt trägt der Standortsfaktor Wasserhaushalt zu wichtigen Ökosystemleistungen von Wäldern bei, wie die Bereitstellung von Trinkwasser oder den Erhalt von Feuchtgebieten

Wechselwirkungen zwischen dem einwirkenden Klima, den Böden und der Vegetation steuern den standörtlichen Wasserhaushalt von Wäldern. Der Klimawandel hat Auswirkungen auf sämtliche Prozesse des Wasserkreislaufs und verändert den mittleren Standortswasserhaushalt sowie die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Extremen (Trockenheiten, Nassphasen).

Der Beitrag stellt neue Ergebnisse zur Bewertung des aktuellen Wasserhaushalts und zu erwartender Trends in der Zukunft vor. Die daraus abgeleitete Bewertung des Trockenheitsrisikos für Waldbestände geht direkt in die Karten zur Baumarteneignung und Klimavulnerabilität ein und modifiziert dort das Kriterium „Stabilität“ (siehe Beitrag Baumarteneignung und Vulnerabilitätskarten).

Wasserhaushaltsmodell LWF-Brook90

Für die Berechnung des Standortswasserhaushalts wurde das forsthydrologische Simulationsmodell LWF-Brook90 (Hammel & Kennel 2001) eingesetzt, welches den Wasserhaushalt eines eindimensionalen, mehrschichtigen Bodenprofils einschließlich seiner Vegetationsdecke in täglicher Auflösung berechnet. Wichtige Ausgabegrößen des Modells beinhalten Daten zur Verdunstung (Transpiration), zum Bodenwasser (Bodenfeuchten, Bodenwasserspannungen) und zur Sickerwasserbewegung.

LWF-Brook90 wird mit meteorologischen Eingangsdaten in täglicher Auflösung (Niederschlag, Temperatur, Strahlung, Wasserdampfdruck, Windgeschwindigkeit) angetrieben. Die in diesem Beitrag vorgestellten Modellierungen verwenden regionalisierte Stationsdaten (250 m x 250 m-Raster) des Deutschen Wetterdienstes für den retrospektiven Zeitraum 1961 bis 2013 und Klimaprojektionen für den Zeitraum 2010 bis 2100. Die verwendeten Klimadaten werden im Detail im Beitrag klimatologische Datengrundlagen beschrieben.

Für die Simulation des standörtlichen Wasserhaushalts sind neben den klimatischen Bedingungen die Eigenschaften des Bodens und des Waldbestandes wichtige Steuergrößen. Die Parametrisierung der Bodeneigenschaften (v.a. Wasserspeicherfähigkeit und Wasserleitfähigkeit) erfolgte für die hier vorgestellte Modellierung auf der Basis von flächig vorliegenden Bodenkarten, welche aus den Daten der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) als 50 m x 50 m-Raster abgeleitet wurden (Zirlewagen & von Wilpert 2011).

Für die Beschreibung der Bestandeseigenschaften wurden zwei Modellversionen parametrisiert. Unabhängig vom aktuell am konkreten Standort stockenden Bestand wurde im Modell entweder eine „Modellfichte“ oder eine „Modellbuche“ parametrisiert. In den Baumarteneignungs- und Klimavulnerabilitätskarten wurden die Ergebnisse der Fichten-Modellversion für alle Nadelbaumarten, die der Buchen-Modellversion für alle Laubbaumarten verwendet. Die Modellversionen für Fichten und Buchen unterscheiden sich insbesondere in Parametern, welche den Niederschlagsrückhalt in den Baumkronen (phänologische Blattentwicklung, Blattflächenindex), die Transpiration (Stomata- und Xy-

lemeigenschaften) und die Bodenwasseraufnahme (Durchwurzelungstiefen) steuern.

Trockenstressrisiko infolge höherer Lufttemperaturen

Die Simulationsergebnisse erlauben Aussagen zur Entwicklung des Wasserhaushalts innerhalb des zurückliegenden Zeitraums 1961-2013 sowie für die Zukunft bis 2100. Bei einer räumlichen Auflösung von 250 m sind differenzierte Aussagen bezüglich der Änderung des Trockenstressrisikos für unterschiedliche Wuchsregionen oder andere Landschaftseinheiten möglich.

Abb. 1 veranschaulicht die Entwicklung der Bodenwasserverfügbarkeit im Zeitraum 1961-2013 exemplarisch für die Modellversion „Buche“ und den Kennwert der „relativen pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicherfüllung im Wurzelraum“. Dieser Kennwert beschreibt die relative Füllung des Bodenwasserspeichers bezogen auf die nutzbare Feldkapazität am Standort. Die dargestellten Werte sind gemittelte Werte über die Vegetationsperiode eines jeden Jahres. Die relative Bodenwasserspeicherfüllung kann Werte zwischen Null und unendlich annehmen. Werte größer 1 bedeuten, dass die mittlere Bodenwasserspeicherfüllung in der Vegetationsperiode oberhalb der Feldkapazität lag. Werte zwischen 0 und 1 besagen, dass die Bodenwasserspeicherfüllung zwischen permanentem Welkepunkt (dem Bodenwassergehalt, bei dessen Unterschreitung die meisten Pflanzen irreversibel welken = Totwassergehalt) und Feldkapazität lag. Beim Wert 0 ist die Bodenwasserspeicherfüllung gleich dem Wassergehalt am permanenten Welkepunkt.

In der Abb. 1 ist zu erkennen, dass im Mittel für Baden-Württemberg die Wasserverfügbarkeit im Betrachtungszeitraum leicht rückläufig ist. Negative Trends weisen insbesondere die warm-trockenen Wuchsgebiete auf (Oberrheinisches Tiefland, Odenwald, Neckarland). In besser wasserversorgten Gebieten ist dieser Trend nur sehr gering ausgeprägt (Schwäbische Alb, Südwestdeutsches Alpenvorland, Schwarzwald, Baar-Wutach).

Die Ursachen für die rückläufige Wasserverfügbarkeit in der Vegetationsperiode liegen vor allem in den gestiegenen Lufttemperaturen. Die beobachteten Änderungen im Niederschlag sind demgegenüber gering und auch die Klimaprojektionen lassen relativ gleichbleibende Niederschlagssummen erwarten. Steigende Lufttemperaturen gehen einher mit einer zunehmenden Verdunstung und damit einer grundsätzlich angespannteren Wasserbilanz. Bereits landesweit zu beobachten ist eine Verlängerung der Vegetationsperiode, insbesondere ein früherer Blattaustrieb im Frühjahr. So hat sich der Blattaustrieb der Buchen in Baden-Württemberg zwischen 1961 und 2013 im Mittel um sieben Tage nach vorne verschoben (Abb. 2). Damit verbunden sind sowohl eine früher einsetzende und intensivere Wasserentnahme durch die Vegetation als auch eine geringere Wieder-

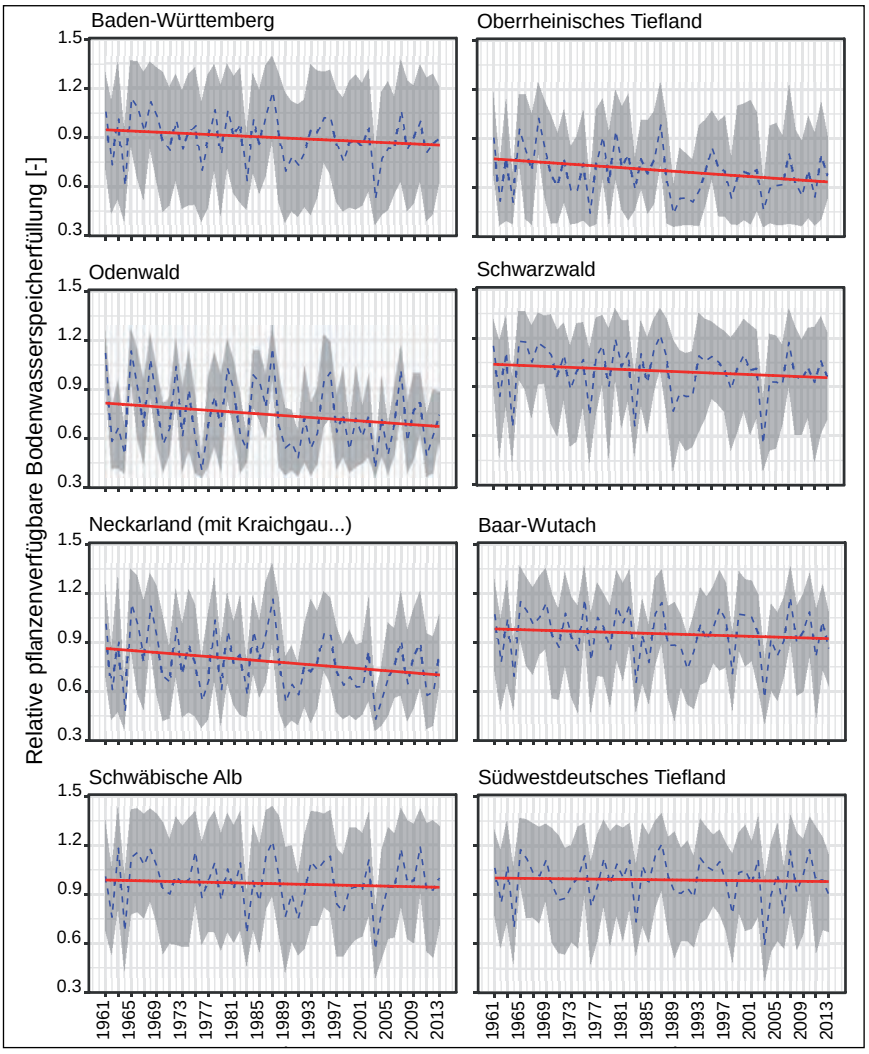


Abb. 1: Relative pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicherfüllung in der Vegetationsperiode für die gesamte Waldfläche (links oben) und die verschiedenen Wuchsgebiete Baden-Württembergs; gestrichelt: Mittelwert über alle Waldstandorte, grau: Bereich zwischen 5 %- und 95 %-Perzentil der Daten, rot: linearer Trend.

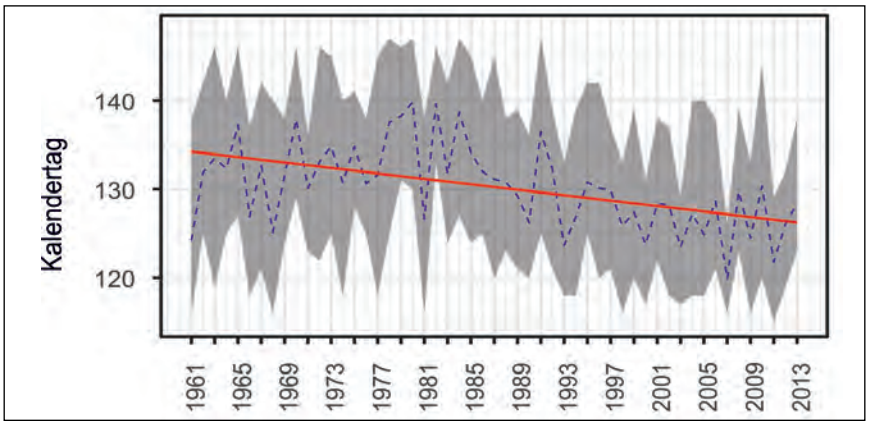


Abb. 2: Beginn des Blattaustriebs bei Buche (Kalendertag); gestrichelt: Mittelwert über alle Waldstandorte Baden-Württembergs, grau: Bereich zwischen 5 %- und 95 % Perzentil der Daten, rot: linearer Trend.

aufsättigung der Bodenwasserspeicher in der kürzer werdenden Phase der Vegetationsruhe.

Negativer Trend setzt sich in der Zukunft fort

Der für den retrospektiven Zeitraum modellierte Trend zunehmenden Wassermangels setzt sich in den simulierten Zukunftsszenarien fort.

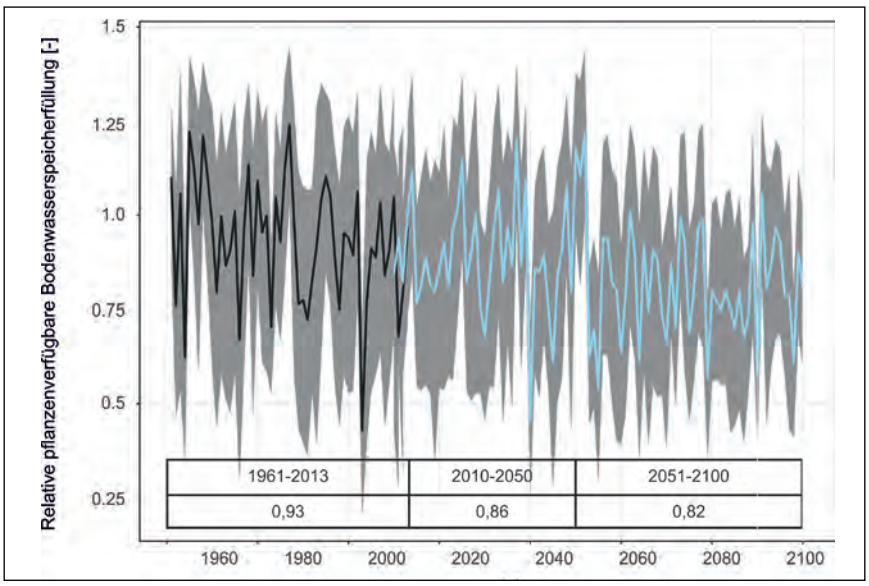


Abb. 3: Entwicklung der relativen pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicherfüllung im Wurzelraum; schwarze Linie: Mittelwert über alle Waldstandorte Baden-Württembergs im retrospektiven Zeitraum, hellblaue Linie: Mittelwert RCP 8.5, grau: Bereich zwischen 10 %- und 90 %-Perzentil der Daten.

Abb. 3 verdeutlicht dies am Beispiel des RCP-Szenarios 8.5 und der Modellversion „Fichte“. Dargestellt ist der Kennwert „relative pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicherfüllung im Wurzelraum“ in Form von Mittelwerten über die jeweilige Vegetationsperiode. Zu erkennen ist, dass einerseits die Wasserverfügbarkeit in mittleren Jahren abnimmt, sodass im Mittel weniger Bodenwasser für die Transpiration (und damit die Photosynthese) zur Verfügung steht. Während im Zeitraum 1961-2013 die Bodenwasserspeicher in der Vegetationsperiode im Mittel zu 93 % gefüllt waren, sinkt der Wert für den Zeitraum 2051-2100 auf 82 % ab. Zum anderen ist mit dem Rückgang der mittleren Wasserverfügbarkeit auch eine Verengung der Varianz zwischen den Waldstandorten zu beobachten (enger werdendes graues Band in Abb. 3), besonders augenscheinlich ab der Mitte des Jahrhunderts. Die Ursache liegt darin, dass in der ferneren Zukunft zunehmend auch die gut wasserversorgten Standorte Trockenstress erfahren und sich in ihrer Wasserverfügbarkeit den trockeneren Standorten annähern. Grundsätzlich ist anzumerken, dass Kenngrößen, die extreme Trockenphasen charakterisieren (z.B. die Unterschreitungshäufigkeit kritischer Bodenwasserspannungen) in den Modellen einen stärkeren Trend aufweisen als der in Abb. 3 dargestellte Kennwert, welcher die mittlere Wasserverfügbarkeit in einem Jahr beschreibt.

Wie bereits für den retrospektiven Zeitraum ersichtlich (Abb. 1), sind die verschiedenen Wuchsregionen Baden-Württembergs unterschiedlich stark von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Abb. 4 zeigt differenziert für die verschiedenen Wuchsgebiete die Trends in der Wasserverfügbarkeit, welche sich aus den Ergebnissen der Wasserhaushaltsmodellierung für die zwei verschiedenen RCP-Szenarien ergeben (Modellversion „Fichte“). Dargestellt ist die relative Veränderung

bezogen auf das Ausgangsjahr 2010. Für beide betrachteten RCP-Szenarien ist die Wasserverfügbarkeit in allen Wuchsgebieten rückläufig. Im gemäßigten (inzwischen nicht mehr realistischen) Szenario RCP 4.5 fallen die Trends erwartungsgemäß schwächer aus als im extremeren Szenario RCP 8.5. Im Szenario RCP 4.5 sind die Änderungen besonders groß in Gebieten, in denen der Wasserhaushalt bereits jetzt schon angespannt ist (Oberrhein, Neckarland). Im Szenario RCP 8.5 weisen Gebiete mit aktuell guter Wasserversorgung (Alpenvorland, Schwarzwald) stärkere negative Trends als die „klassischen" warm-trockenen Wuchsgebiete auf. In letzteren ist bereits im Szenario RCP 4.5 die Wasserversorgung so stark eingeschränkt, dass das extremere RCP-Szenario 8.5 nur zu einer geringfügigen Verschärfung der Wasserhaushaltssituation führt.

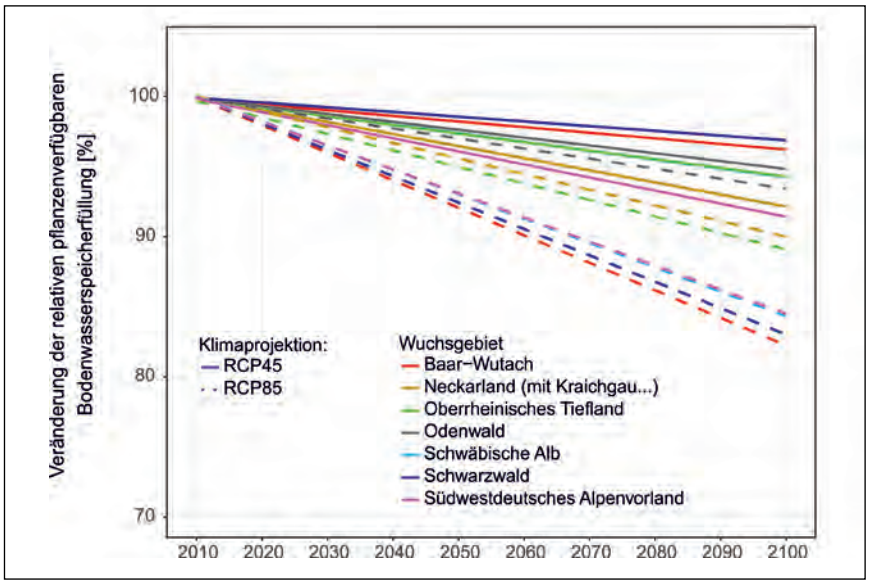


Abb. 4: Prozentuale Veränderung der relativen pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicherfüllung bezogen auf den Ausgangszustand im Jahr 2010 (= 100 %); durchgezogene Linien: RP 4.5, gestrichelte Linien: RCP 8.5.

Das Kriterium „Trockenstress" in den neuen Karten

Als Eingangsgröße in die neuen Baumarteneignungs- und Klimavulnerabilitätskarten wurde das Trockenstressrisiko klassifiziert in Abhängigkeit von Grenzwerten für die langjährigen Mittelwerte der relativen pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicherung. Bei Werten größer 0,8 liegt kein Trockenstressrisiko vor, bei Werten zwischen 0,6 und 0,8 ein geringes Risiko und bei Werten kleiner 0,6 ein hohes Risiko.

Abb. 6 stellt exemplarisch für die Modellversion „Buche" und das RCP-Szenario 8.5 (Zeitraum 2071-2100) die Kartengrundlagen dar, welche in die Baumarteneignungs- und Vulnerabilitätskarten eingegangen sind. In den linken Karten sind die kontinuierlichen Modellergebnisse dargestellt, in den rechten Karten die daraus abgeleiteten Klassifizierungen des Trockenstressrisikos. Wie bereits oben besprochen, sind sowohl das aktuelle Trockenstressrisiko als auch

Abb. 5: Trockenschäden und Fruktifikation.

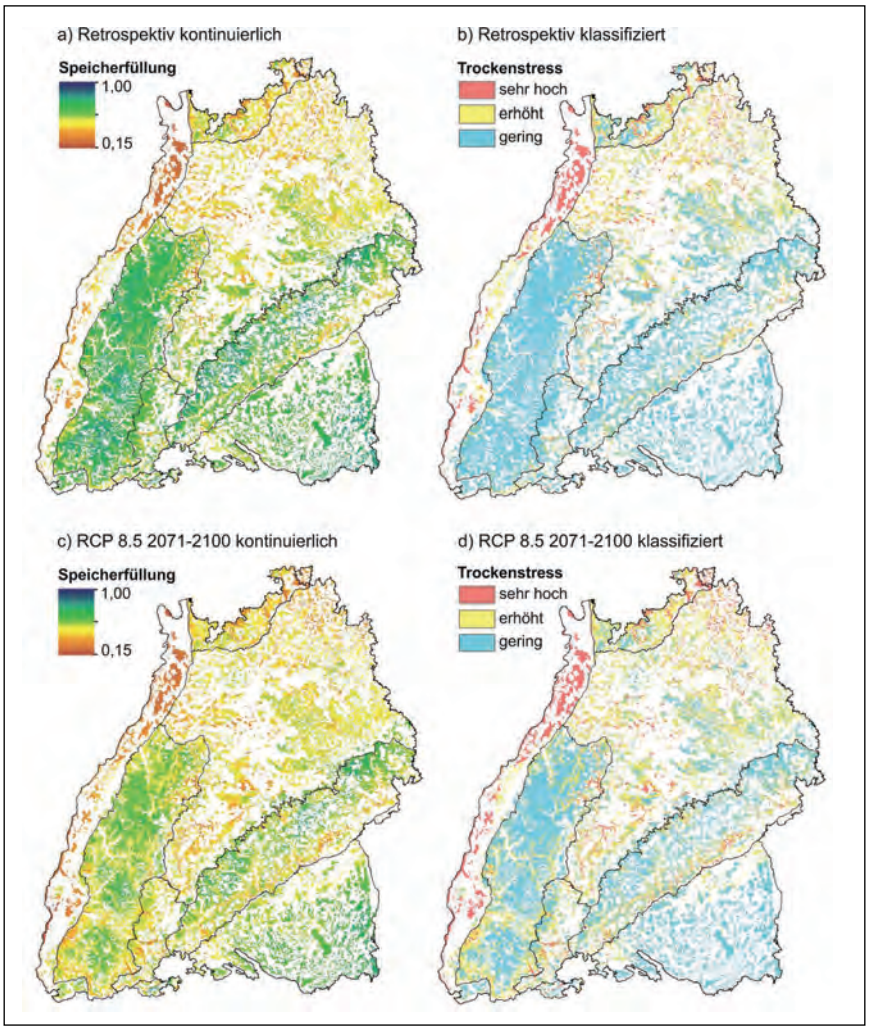


Abb. 6: Karten mit langjährigen Mittelwerten der relativen pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicherfüllung (a, c) sowie daraus abgeleitete Klassifizierung des Trockenstressrisikos (b, d) für die Retrospektive und das Szenario RCP 8.5 (Zeitraum 2071-2100).

die prognostizierten Veränderungen in der Zukunft räumlich sehr variabel. Im oberrheinischen Tiefland, im Neckarland und im Odenwald ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Wassermangel bereits jetzt hoch. Für die Zukunft wird eine Zunahme des Trockenstressrisikos auch für die aktuell noch besser wasserversorgten Bereiche des Neckarlands, die Regenschattengebiete der Schwäbischen Alb, die tieferen Lagen des Schwarzwald sowie für die Baar-Wutach prognostiziert. Im Vergleich zu den prognostizierten Änderungen anderer Risikofaktoren, welche in die Baumarteneignungs- und Vulnerabilitätskarten einfließen (z.B. Risiko für Borkenkäferbefall), sind die prognostizierten Änderungen im Wasserhaushalt allerdings als moderat zu betrachten.

Weitere Einsatzmöglichkeiten der Modellergebnisse

Die Ergebnisse der Modellierungen sind in Datenbanken der FVA integriert und stehen für weitergehende Auswertungen in der Klimafolgenforschung zur Verfügung, etwa für die Parametrisierung von klimasensitiven Wachstumsmodellen oder auch für Untersuchungen zur Bedeutung von Trockenjahren für die Waldgesundheit. Eine Vielzahl weiterer Anwendungen der modellierten Wasserhaushaltsdaten ist denkbar, wie z.B. die Erstellung von Sickerwasserprognosen für Schad- und Nährstoffausträge aus Waldböden oder als Datengrundlage für eine modellgestützte Standortskartierung.

Dr. Heike Puhlmann
FVA, Abteilung Boden und Umwelt
Tel.: (07 61) 40 18 – 2 24
heike.puhlmann@forst.bwl.de

Literatur

Hammel, K. und Kennel, M. 2001. Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell BROOK90. Forstliche Forschungsberichte München, 185, 135 S.

Zirlewagen, D. und von Wilpert, K. 2011. Regionalisierung bodenphysikalischer Eingangsgrößen für bodenhydraulische Pedotransferfunktionen. Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz, 12, 73-83.

Abschätzung des Buchdruckerrisikos mithilfe des Modells PHENIPS

von Markus Kautz und Manuel Händel

Der Buchdrucker (*Ips typographus* L.) ist die mit Abstand wirtschaftlich bedeutendste Borkenkäferart in Baden-Württemberg. Dieses Schadinsekt kann in Phasen der Massenvermehrung, wie wir sie derzeit erleben, selbst vitale, standortsangepasste Fichten befallen und dadurch ganze Bestände zum Absterben bringen. Im vergangenen Trockenjahr sind beispielsweise landesweit fast 2 Mio. Festmeter Fichten-Schadholz allein durch den Buchdrucker angefallen. Ganz entscheidend für das potentielle Vermehrungsvermögen des Buchdruckers, und somit für das Befallsrisiko, sind die thermischen Bedingungen. Kurz gesagt: Je wärmer das Klima, desto kürzer der Entwicklungszyklus der Käfer und desto größer folglich die Anzahl der aufeinander folgenden Generationen pro Jahr. Aufgrund der extrem hohen Vermehrungsrate von bis zu 1:20 (d.h. aus einem Weibchen entwickeln sich 20 Weibchen der Folgegeneration) steigt letztlich das Befallsrisiko exponentiell mit zunehmender Generationenanzahl.

Dieses klimaabhängige phänologie-basierte Befallsrisiko durch den Buchdrucker geht neben weiteren Risikofaktoren (s. Beitrag „Baumarteneignung 2.0 und Vulnerabilitätskarten“) in die Beurteilung der Baumarteneignung und Vulnerabilität der Baumart Fichte ein. Der Buchdruckerbefall ist darüber hinaus natürlich noch von weiteren kleinräumig variierenden Faktoren abhängig, wie z.B. der räumlichen Nähe zu Vorjahresbefall bzw. Sturmwürfen, der Struktur und dem Alter der Bestände sowie der Intensität von waldhygienischen Managementmaßnahmen. Diese Faktoren fließen jedoch aufgrund der räumlich-zeitlich inkonsistenten Datenlage nicht in die vorliegende Beurteilung ein.

Um das phänologie-basierte Buchdruckerrisiko unter Berücksichtigung des fortschreitenden Klimawandels zu charakterisieren, wurde mit dem Phänologiemodell PHENIPS (Baier et al., 2007) die Anzahl der potentiellen Buchdrucker-Generationen pro Jahr unter verschiedenen Klimaszenarien berechnet. Sobald die simulierte Generationenanzahl definierte Schwellenwerte überschreitet, wurde das Eignungskriterium „Stabilität“ im Gesamtkonzept der Beurteilung der Baumarteneignung herabgesetzt (s. Beitrag „Multikriterielle Bewertungen“).

Das PHENIPS-Modell

Modellbeschreibung

Als Eingangsparameter berücksichtigt das Modell die mittlere und maximale Lufttemperatur sowie die Globalstrahlung für jeden Tag während der Aktivitätsperiode von Anfang April bis Ende Oktober eines jeden Jahres. Aus diesen beiden Parametern wird zunächst die tägliche Rindentemperatur berechnet, welche für die Entwicklung der Käfer unter der Rinde relevant ist.

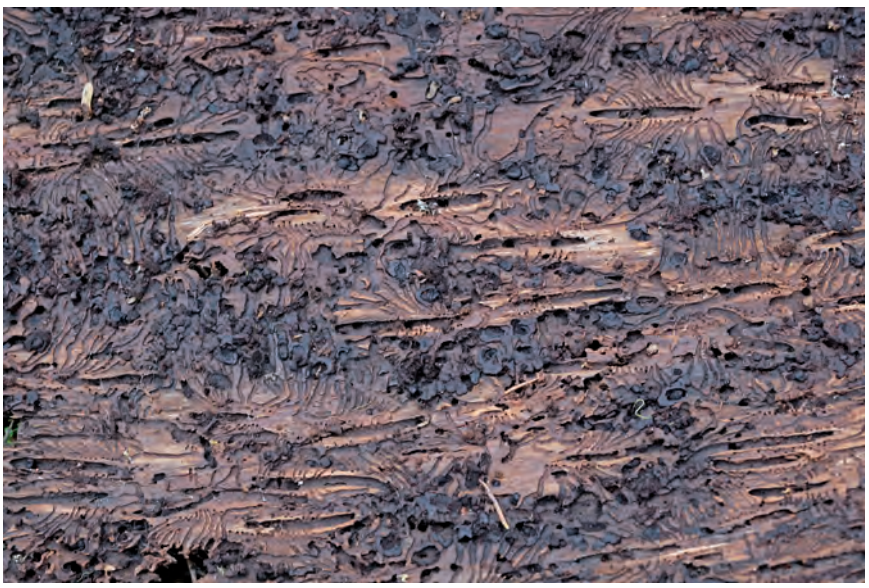


Abb. 1: Buchdrucker-Brutbild. *(Foto: Thomas Weidner)*

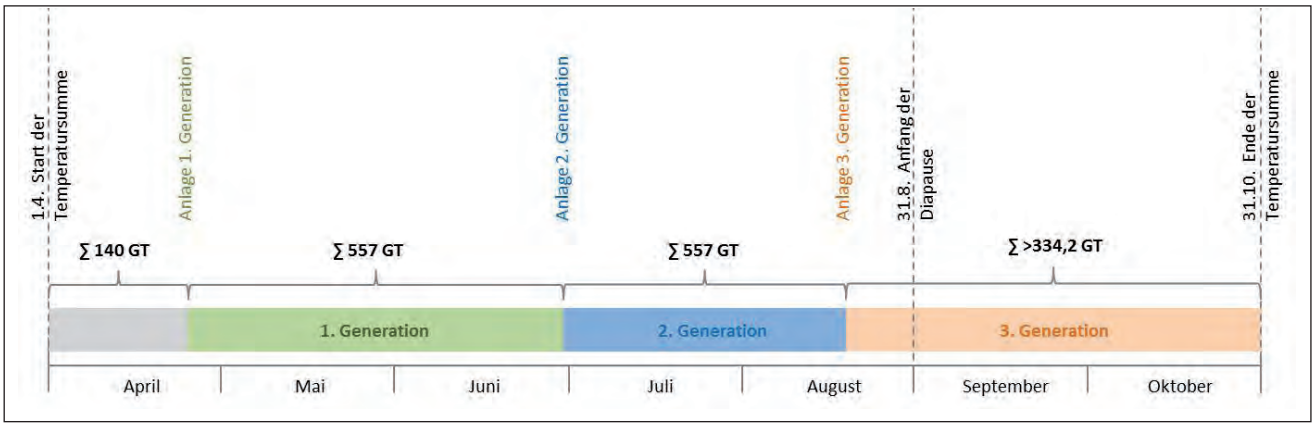


Abb. 2: Beispiel einer Generationenentwicklung im PHENPS-Modell: 2 Generationen wurden hier vollständig entwickelt, eine dritte erreicht vor dem 31.10. das für eine erfolgreiche Überwinterung erforderliche Imaginalstadium; folglich ergeben sich für dieses Beispieljahr 3 entwickelte Generationen; GT = Gradtage.

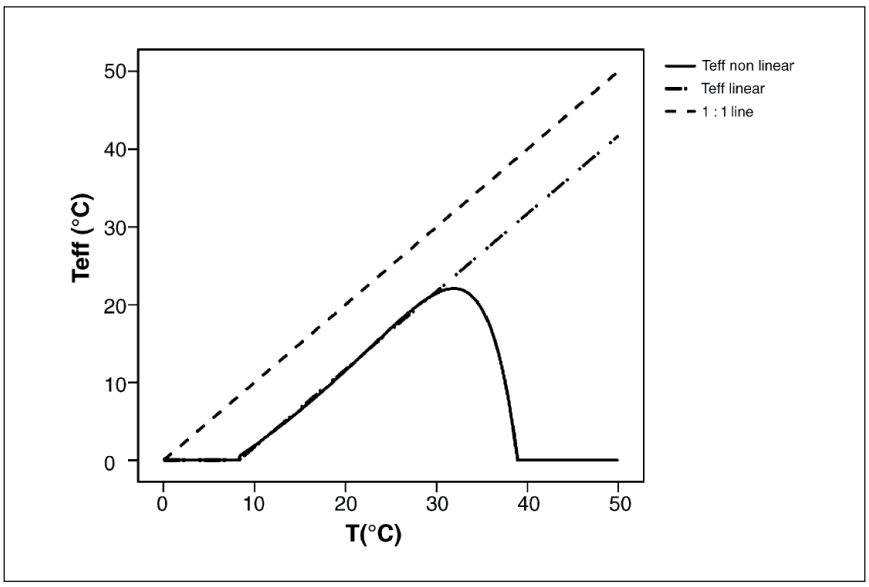


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Lufttemperatur (x-Achse) und Entwicklungsgeschwindigkeit (y-Achse, nach Baier et al., 2007): die durchzogene Linie beschreibt die nicht-lineare Entwicklungsfunktion von der Entwicklungsuntergrenze (8,3°C) über das Optimum (30,4°C) bis zur Entwicklungsobergrenze (38,9°C); die Strich-Punkt-Linie zeigt die Linearität bis zum Optimum, parallel zur 1:1-Linie (gestrichelt) verlaufend.

Anschließend wird diese täglich über die Aktivitätsperiode aufsummiert; man erhält somit für jeden Tag die aktuelle Temperatursumme und schließlich Ende Oktober eine jährliche Gesamttemperatursumme. Da bei der Globalstrahlung die horizontale Globalstrahlung verwendet wird, welche zwar die Topographie, nicht jedoch die Beschattung im Bestand abbildet, handelt es sich um progressive Werte, also um maximal mögliche Temperatursummen wie sie beispielsweise an besonnten Waldrändern oder Sturmflächen auftreten können.

Im Modell sind diverse Annahmen zur temperaturbedingten Entwicklung der Käfer getroffen worden, welche gegenüber der veröffentlichten Version (Baier et al., 2007) nicht geändert wurden. So werden die ersten Fichten an jenem Tag befallen, an dem ab dem 1.4. die Summe der maximalen Lufttemperatur an Tagen >8,3°C (Entwicklungsuntergrenze) 140 Gradtage (Einheit der Temperatursumme) erreicht wird und gleichzeitig die notwendige Schwärmtemperatur von ≥16,5°C auftritt; zu diesem Zeitpunkt wird die erste Generation angelegt. Die vollständige Entwicklung dieser Generation dauert anschließend 557 Gradtage (an Tagen mit >8,3°C), bis erneut der Ausflug und die Anlage der Folgegeneration stattfinden kann, usw. (Abb. 2). Der Zusammen-

hang zwischen der Entwicklungsgeschwindigkeit und der auftretenden Temperatur wird durch eine nichtlineare Funktion beschrieben: Die Entwicklungsgeschwindigkeit steigt bis zu einem Temperaturoptimum von 30,4°C linear an und fällt oberhalb wieder ab (Abb. 3). Ein Ausflug ab dem 31. August ist aufgrund der initialisierten Diapause bei einer Tageslänge <14,5 Stunden nicht mehr möglich. Bis Ende Oktober kann sich aber ein Käfer unter der Rinde weiterhin entwickeln, solange die untere Entwicklungsschwelle von 8,3°C nicht unterschritten wird. Aus der Jahrestemperatursumme wird dann die Anzahl an Generationen, die sich vollständig entwickelt haben, berechnet. Dabei wird berücksichtigt, dass ein Käfer als überwinterungsfähig gilt und damit als vollwertige Generation mitgezählt wird, wenn er sich bis zum Ende der Aktivitätsperiode bereits im imaginalen Stadium befindet, d.h. 60% seiner Entwicklung abgeschlossen hat (= 334,2 Gradtage, Abb. 2).

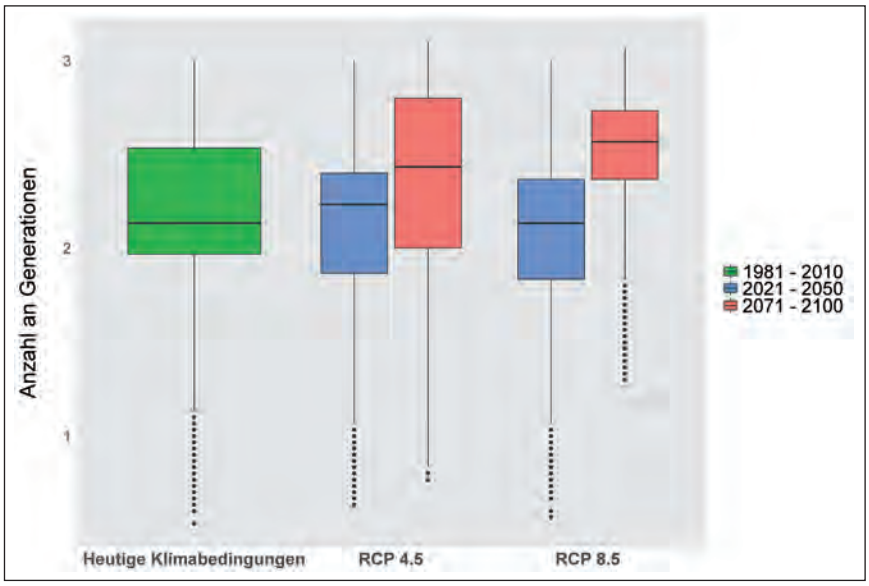


Abb. 4 Vergleich der mittleren Generationenanzahl in Baden-Württemberg unter heutigen (grün, 1981-2010) und zukünftigen Klimabedingungen (blau, 2021-2050; rot, 2071-2100).

Input-Daten und Simulationen

Als Input für die PHENIPS-Simulationen wurden die mit dem REMO-

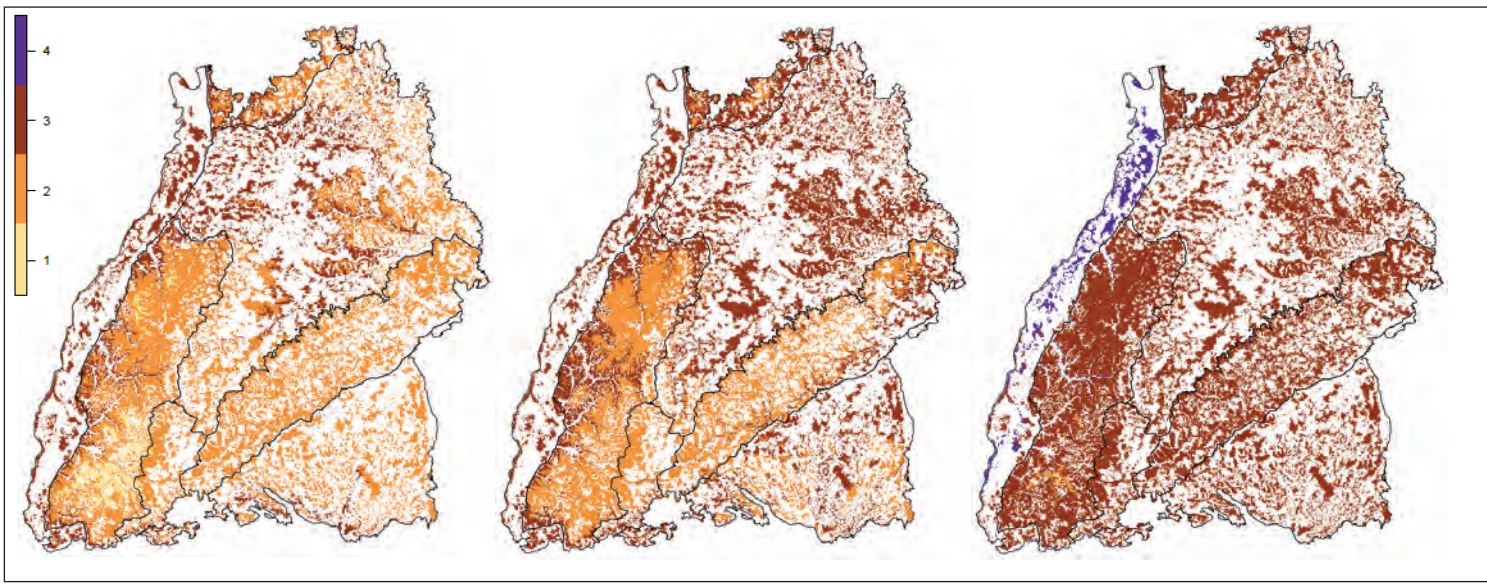


Abb. 5: Räumliche Verteilung der Generationenanzahl: (links) heutige Klimabedingungen, Mittelwerte der Periode von 1981-2010; (mittig) und (rechts) zukünftige Klimabedingungen der Periode von 2071-2100 (RCP 8.5-Szenario), (mittig) Mittelwerte und (rechts) Maximalwerte in den 7 Wuchsgebieten in Baden-Württemberg; dargestellt ist die Gesamtwaldfläche (siehe zu den Wuchsgebieten Abb. 4 auf Seite 12).

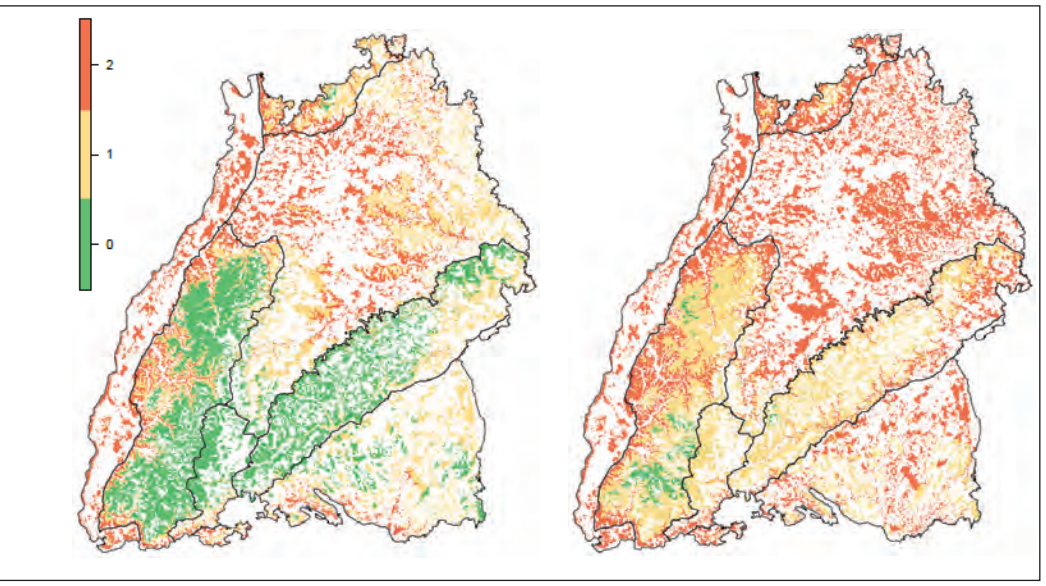


Abb. 6: Räumliche Verteilung der abgeleiteten Risikoklassen: (links) heutige mittlere Klimabedingungen (1981-2010) und (rechts) zukünftige mittlere Klimabedingungen (RCP 8.5-Szenario, 2071-2100) in den 7 Wuchsgebieten in Baden-Württemberg (Bezeichnung in Abb. 5); dargestellt ist die Gesamtwaldfläche.

Modell berechneten Klimadaten der RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 in einer räumlichen Auflösung von 250 x 250 m verwendet. Dabei entspricht die Klimaperiode 1981-2010 dem heutigen Klima, 2021-2050 dem Klima in naher Zukunft und 2071-2100 dem Klima in fernerer Zukunft. Für diese drei 30-jährigen Zeitperioden wurden die Simulationen durchgeführt und die Anzahl der Generationen pro Jahr in Baden-Württemberg mit einer Auflösung von 250 x 250 m ausgegeben (s. Beitrag „Klimatologische Datengrundlagen“).

Klimawandel lässt Buchdruckerrisiko steigen

Unter gegenwärtigen Klimabedingungen (1981-2010) entwickeln sich in Baden-Württemberg durchschnittlich 2,2 (SD ±0,4) Buchdrucker-Generationen (Abb. 4), wobei die Anzahl aufgrund der Topographie räumlich stark variiert (Abb. 5 links). Während sich in weiten Teilen des Schwarzwaldes und der Schwäbischen Alb in einem mittleren Jahr 2 Generationen (in den Gipfellagen nur 1 Generation) entwickeln, führen die wärmeren Temperaturen in den tiefer gelegenen Bereichen zu bis zu 3 Generationen im langjährigen Mittel. Selbst in Extremjahren wird in Lagen ab ca. 700 m ü.NN. im Schwarzwald und auf der Schwäbischen Alb bisher keine 3. Generation entwickelt; in Tieflagen kommt es auch in diesen Jahren nicht zur 4. Generation.

Dies wird sich zukünftig jedoch ändern: Während in den kommenden Jahren (2021-2050) der Trend noch weitgehend gleich bleibt bzw. lokal sogar leicht rückläufig ist, führen die gegen Ende des Jahrhunderts verstärkt ansteigenden Temperaturen in beiden betrachteten RCP-Szenarien zu einem deutlichen Anstieg der Generationenanzahl und damit des Buchdruckerrisikos (Abb. 4, 5 mittig). Die Anzahl der Generationen gemittelt über alle Rasterzellen im Zeitraum 2071-2100 steigt somit innerhalb von 90 Jahren um 0,2-0,4 auf 2,4 (±0,4)-2,6 (±0,3) an (RCP 4.5 bzw. 8.5). Dies bedeutet im progressiven RCP 8.5-Szenario einen leichten Anstieg der Höhengrenze bis zu welcher sich im Mittel eine 3. Generation entwickeln kann (Abb. 5 links, mittig). Betrachtet man jedoch die maximale Entwicklung, also Extremjahre, kommt die 3. Generation in den Jahren 2071-2100 fast flächendeckend vor (mit Ausnahme der Gipfel des Südschwarzwaldes) und in der Rheinebene kann sich sogar die 4. Generation entwickeln (Abb. 5 rechts). Das Auftreten dieser Extremjahre ist bezüglich der Risikobewertung von besonderer Bedeutung: Da die Populationsdynamik des Buchdruckers nachhaltig, also über mehrere aufeinander folgende Jahre von solchen Extremjahren profitiert, lassen bereits wenige Extremjahre während einer 30-jährigen Periode das Buchdruckerrisiko überproportional ansteigen.

Um letztlich die Vulnerabilität der Fichte bewerten zu können, wurde die für jede Rasterzelle simulierte mittlere Generationenanzahl mit folgendem Schlüssel in Risikoklassen übersetzt:

- <2 Generationen = Risikoklasse 0 (gering)
- 2 – 2,5 Generationen = Risikoklasse 1 (mittel)
- >2,5 Generationen = Risikoklasse 2 (hoch)

Werden also beispielsweise in einer 30-jährigen Periode in je 15 Jahren 2 bzw. 3 Generationen entwickelt, entspricht dies 2,5 Generationen; Werte >2,5 bedeuten, dass es in der Mehrzahl an Jahren eine 3. Generation gibt. Folgt man diesem Bewertungsschlüssel, fallen aktuell jeweils etwas mehr als ein Drittel der waldbedeckten Landesfläche in die Klassen 0 und 1 (mittlere und höhere Lagen), ca. 25% in die höchste Klasse 2 (Tieflagen <450 m ü.NN., Abb. 6 links und 7). Diese Bilanz ändert sich dramatisch wiederum erst in den ferneren Zukunftsszenarien. Im RCP 8.5-Szenario rutschen großflächige Gebiete zwischen 400 m und 600 m ü.NN. aus der Klasse 1 in die Klasse 2 mit dann 55%-Anteil an der Gesamtwaldfläche, und nur die Hochlagen von Schwarzwald und

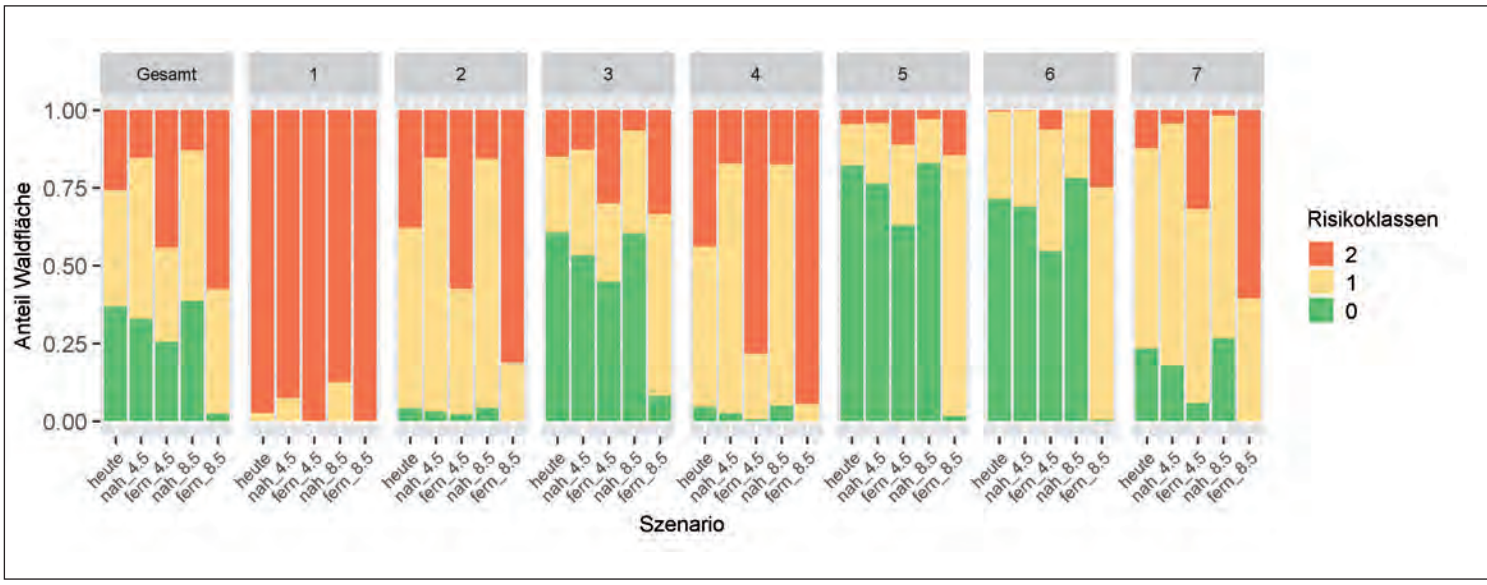


Abb. 7: Prozentuale Verteilung der abgeleiteten Risikoklassen in Gesamt-Baden-Württemberg sowie in den einzelnen Wuchsgebieten (1-7) unter heutigen und zukünftigen mittleren Klimabedingungen; „heute“, „nah“ und „fern“ bezieht sich auf die Zeitperioden 1981-2010, 2021-2050 bzw. 2071-2100, „4.5“ und „8.5“ auf das entsprechende RCP-Szenario.

Alb zählen weiterhin noch zur Risikoklasse 0 (3%). Ein Risikoanstieg ist insgesamt auf 66% der Waldfläche in Baden-Württemberg zu erwarten (Abb. 7), d.h. auf 34% von Klasse 0 auf 1, auf 31% von 1 auf 2 und auf 1% von 0 auf 2. Betrachtet man die regionalen Unterschiede in den verschiedenen Wuchsgebieten sind Risikoanstiege in allen Wuchsgebieten bis auf die Rheinebene (Wuchsgebiet 1) zu erwarten, in welcher aber bereits heute schon die höchste Risikoklasse 2 herrscht. Während in Schwarzwald (3), Baar-Wutach (5) und der Schwäbischen Alb (6) vielfach das Risiko von Klasse 0 auf 1 ansteigt, dominiert im Odenwald (2), dem Neckarland (4) und dem Südwestdeutschen Alpenvorland (7) der Anstieg von 1 auf 2 (Abb. 7).

Die Modellsimulationen zeigen eindeutig, dass sich zukünftig steigende Temperaturen unmittelbar auf das Buchdruckerrisiko auswirken und somit die Baumart Fichte gegen Ende des Jahrhunderts in ihrer Stabilität maßgeblich negativ beeinflussen – grundsätzlich gilt: je größer der mittlere Temperaturanstieg sowie die Frequenz von extremen Hitze- und Trockenjahren, desto höher die Vulnerabilität. Folglich stellt sich für den Waldbau bereits in den kommenden Jahren die Herausforderung, die Baumart Fichte in den Regionen mit zukünftig erhöhtem Risiko weitgehend zu ersetzen.

Dr. Markus Kautz
FVA, Abt. Waldschutz
Tel.: (07 61) 40 18 - 1 94
markus.kautz@forst.bwl.de

Literatur

Baier, P., Pennerstorfer, J., & Schopf, A. (2007): PHENIPS – A comprehensive phenoplogy model of Ips typographus (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. Forest Ecology and Management, 249(3), 171-186.

Bonitäten: Dynamischer als gedacht

von Chaofang Yue, Axel Albrecht, Joachim Klädtke und Ulrich Kohnle

Wie entwickelt sich das Waldwachstum im Klimawandel? Diese Frage beantwortet ein Bonitätsmodell, das die Folgen von Umweltveränderungen auf die Wuchsleitung abbildet. Es berücksichtigt explizit die Veränderungsdynamik und bringt so deutliche Verbesserungen gegenüber Modellen, die nur auf räumlichen Unterschieden aufbauen.

Das Prinzip der Bonität

Um zielgerichtet waldbaulich planen zu können muss man wissen, wie Bäume auf den verschiedenen Standorten wachsen. Als Maß wird dazu i.d.R. die „Bonität“ verwendet. Im Prinzip beschreibt die Bonität die von einer Baumart auf einem gegebenen Standort zu einem Referenzalter erwartete Wuchsleistung. Bei den häufig verwendeten Höhenbonitäten ist dies die im Alter von 100 Jahren erreichte (Ober-) Höhe.

Auch bei den baden-württembergischen dGz100-Bonitäten (dGz= durchschnittlicher Gesamtzuwachs an Volumen) handelt es sich in Wirklichkeit um „verkappte“ Oberhöhenbonitäten. Bonitiert wird über die Beziehung Höhe sowie Alter und nicht über den Zuwachs. Verwendet wird dann aber zur Bezeichnung nicht die im Alter 100 Jahre erreichte Oberhöhe, sondern der in diesem Alter erwartete durchschnittliche Gesamtzuwachs an Volumen, der baumartspezifischen Ertragstafeln entnommen wird.

Lange Zeit wurde bei der Bonitierung angenommen, dass zuwachsrelevante Umweltfaktoren zwar kurzfristigen Schwankungen unterworfen sind, aber langfristig als konstant gelten können. Somit also das von der Bonität charakterisierte Wuchsleistungspotential (syn. „Ertragsklasse“) eines Standorts trotz Zuwachsschwankungen konstant sei. Die Bonitierung nach Ertragstafeln – unverrückbar erscheinenden Zahlenwerken – ist im forstpraktischen Alltag so üblich, dass i.d.R. niemals die Idee aufkommt, zu fragen, ob und in welchem Umfang Bonitäten Änderungen unter-

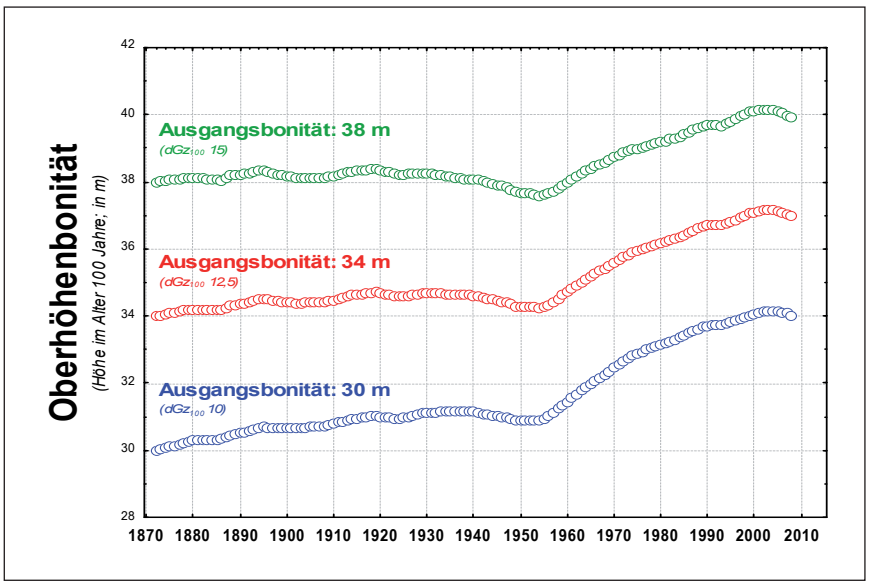


Abb. 1: Entwicklung der standortsspezifischen Wuchsleistungskraft („Ertragsklasse“, „Bonität“) in Baden-Württemberg seit Ende des 19. Jahrhunderts, exemplarisch dargestellt für drei unterschiedliche Ausgangsniveaus der Bonitäten bei Fichte.

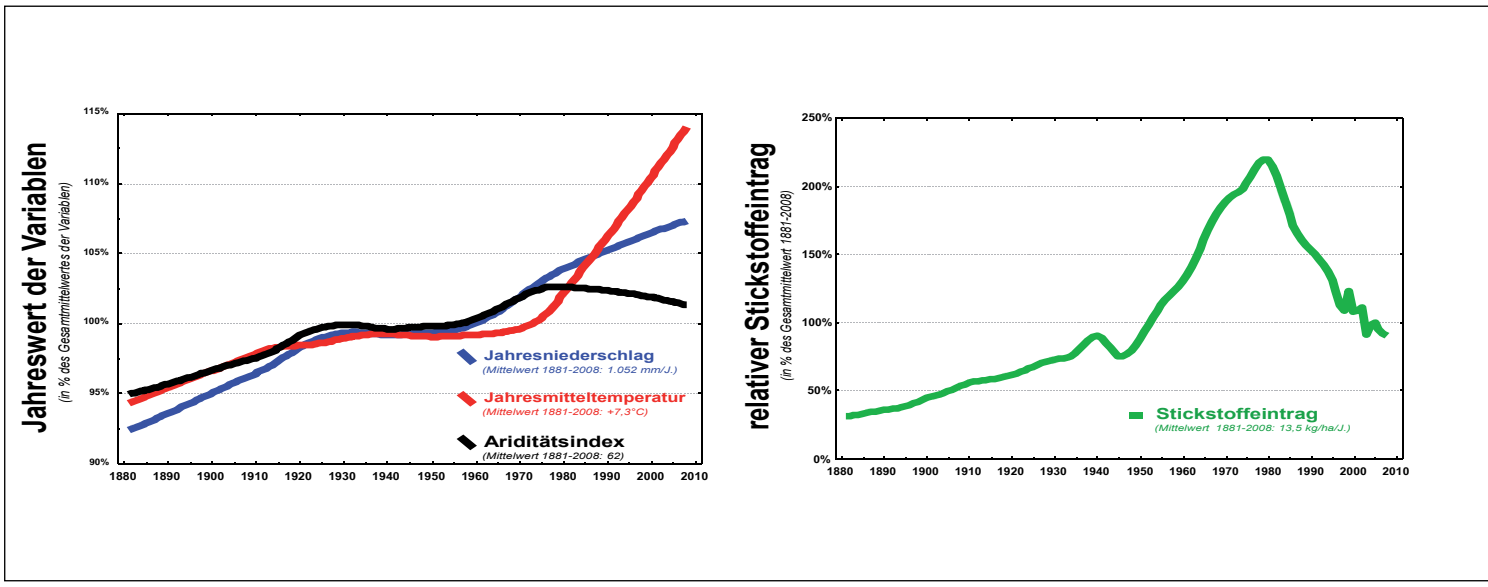


Abb. 2: Entwicklungstrends zuwachsrelevanter Klimavariablen (links) und Entwicklung jährlicher Stickstoffeinträge an den Standorten der Fichten-Versuchsflächen (rechts). Dargestellt sind die relativen Entwicklungen in Prozent des für die jeweilige Variable über den gesamten Betrachtungszeitraum 1881-2008 berechneten Mittelwerts (=100%). Zu beachten ist hierbei die auf der x-Achse abgebildete Spannweite der Werte. Diese ist bei den Stickstoffeinträgen um ein zehnfaches höher (250%) als bei den Klimavariablen (25%).

worfen sind. Insbesondere vor dem Hintergrund der Klimaveränderung wird aber die Frage immer drängender: Ist die Annahme der Konstanz von Bonitäten denn wirklich zutreffend?

Dazu ist zu sagen: Tatsächlich darf auch heute noch davon ausgegangen werden, dass die Bonität die für mittelfristige waldbauliche Planungen relevanten Informationen wie Höhenwachstum oder Volumenzuwachs in ausreichender Genauigkeit abbildet – vorausgesetzt, Alter und Oberhöhe wurden korrekt ermittelt.

Langfristig keine konstante Größe

Dagegen trifft für langfristige Planungshorizonte die Unterstellung von Umwelt und Bonität als langfristig konstante Größen nicht zu.

Dass sich Bonitäten in der Vergangenheit offenkundig verändert haben und wie sie sich wahrscheinlich im Klimawandel weiter entwickeln werden, wird im Folgenden am Beispiel der Fichte erläutert.

Die Untersuchungen beruhen auf Messdaten von ca. 600 Fichtenflächen der Abteilung Waldwachstum an über 200 Waldorten. Für die Analyse wurde ein Verfahren mit zwei methodisch neuen Ansätzen entwickelt:

- Zum einen modelliert das Verfahren nicht – wie bisher bei vergleichbaren Untersuchungen üblich – die Entwicklung der absoluten Bonitäten über die Zeit (Kalenderjahre), sondern die Bonitäts“-veränderungen“, die jeweils zwischen zwei Messzeitpunkten gemessen wurden.
- Zum anderen kombiniert es Daten aus zeitlich und räumlich getrennten Messreihen und fügt diese zu durch-

Abb. 3: Altholz mit Tannen und Fichten.

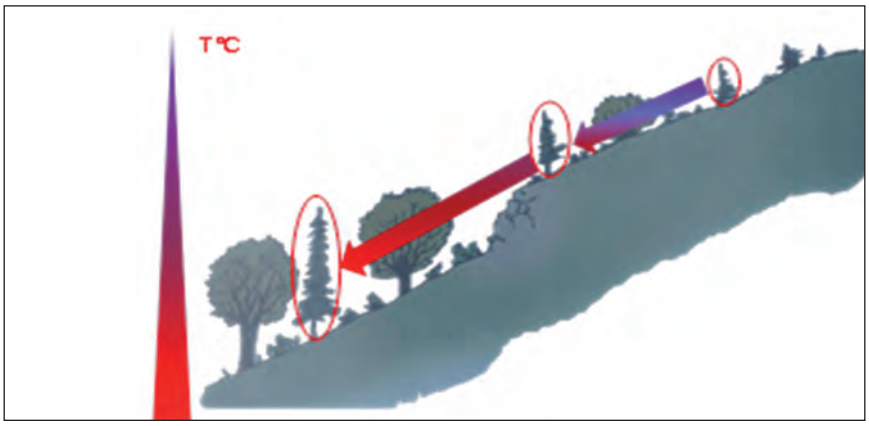


Abb. 4: Temperatur und Baumwachstum entlang eines Höhengradienten (Schema).

gehenden Entwicklungen zusammen.

Die Kombination aus umfangreicher Datengrundlage und ausgefeilter Analysemethode liefert denn auch tatsächlich ein eindrucksvolles Ergebnis. Unschwer lässt sich aus Abb. 1 erkennen, dass die Fichten-Bonitäten vom Ende des 19. Jahrhunderts bis in die 1950er Jahre konstant blieben oder sich nur wenig veränderten. Die lange geltende Meinung, eine Bonität sei quasi in Stein gemeißelt, erschien also in diesem Zeitraum durchaus nicht unbegründet. Seit Mitte der 1950er Jahre ist das Wuchsleistungspotential jedoch rapide angestiegen und erreicht kurz nach der letzten Jahrhundertwende ein Maximum. Danach zeigt sich wieder ein leicht abnehmender Trend. Erkennbar auch: das Ausmaß der Veränderung war bei geringer Ausgangsbonität größer als bei guter Ausgangsbonität.

Interessant wird es, wenn diese Bonitätsentwicklung den Veränderungen zuwachsrelevanter Umweltfaktoren wie Temperatur, Niederschlag, Aridität und Eintrag von Stickstoff gegenübergestellt wird (Abb. 2): Offensichtlich passen weder Temperaturen noch Niederschläge für sich alleine zum Trend der Bonitäten. Etwas besser scheint auf den ersten Blick der Zusammenhang mit dem Aridi-tätsindex, der als Wechselwirkung aus Temperatur und Niederschlag berechnet wird. Allerdings weist dieser Index bereits ab den 1970er Jahren einen abnehmenden, also eher wachstumsschädlichen Trend auf, während zu dieser Zeit die Bonitäten noch ansteigen. Dagegen passt der Trend der Stickstoffeinträge gut mit den Bonitätsentwicklungen zusammen.

Dies zeigt zum einen, dass sich die Bonitätsveränderungen offensichtlich mit keinem der betrachteten klimatischen Zuwachsfaktoren alleine erklären lassen. Zum anderen wird deutlich, dass umweltsensitive Bonitätsmodelle, die Stoffeinträge ausschließen, nicht funktionieren können, da klimatische Faktoren

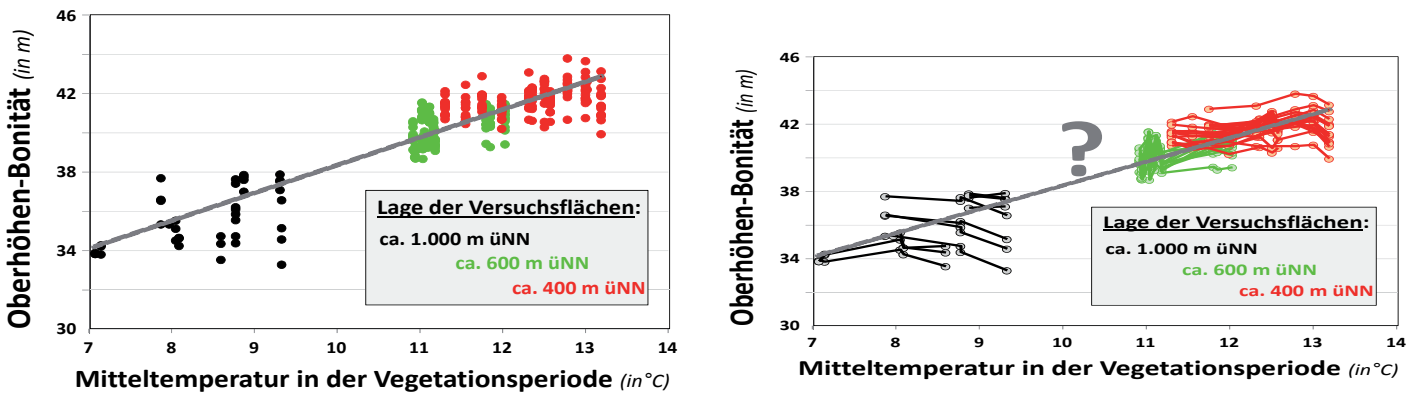


Abb. 5: Zu verschiedenen Zeitpunkten gemessene Bonitäten in Fichten-Versuchsbeständen in unterschiedlichen Höhenlagen (rd. 1.000, 600 bzw. 400 m üNN). Dargestellt ist die zum jeweiligen Messzeitpunkt ermittelte Bonität (y-Achse) über der Durchschnittstemperatur in der zurückliegenden Messperiode (x-Achse).
Links ohne Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung und die daraus abgeleitete Regression (grau).
Rechts zusätzliche Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Aufnahmen (Linien zwischen den Punkten).

alleine zur Modellierung nicht ausreichen.

Prognosen im Klimawandel

Die Analyse der Vergangenheit ist eine Herausforderung, Prognosen der künftigen Entwicklung im Klimawandel eine weitere. Bislang wurde für solche Prognosen gerne auf die Tatsache zurückgegriffen, dass unsere Wälder aufgrund der topographischen Verhältnisse zu gleicher Zeit an verschiedenen Orten unter unterschiedlichen klimatischen Verhältnissen wachsen. Beispielsweise nimmt die Temperatur entlang eines räumlichen Gradienten mit zunehmender Höhenlage ab. Damit liegt die Vorstellung nahe, dass sich bei anhaltender Erwärmung an einem bestimmten Standort im Laufe der Zeit diejenigen Wachstumsverhältnisse einstellen sollten, wie sie bei einem tiefer, in einer wärmeren Klimazone gelegenen Standort bereits heute zu beobachten sind. Oder einfacher ausgedrückt: es wird angenommen, dass sich ein höher gelegener Standort im Lauf der Zeit bei zunehmender Erwärmung aus Sicht der Wachstumsverhältnisse quasi komplett in tiefere Lagen mit höheren Temperaturen verschiebt (Abb. 4).

Manche Modelle quantifizieren deshalb die Einflüsse klimatischer Faktoren auf die beobachtete Wuchsleistung auf Basis räumlich differenzierter Daten. Wenn es tatsächlich zutrifft, dass die für die Differenzierung der Wuchsleistung entlang räumlicher Gradienten wirksamen Umwelteinflüsse dieselben sind wie die, die bei einer Veränderung solcher Faktoren an einem Standort im zeitlichen Verlauf auftreten – dann können solche Modelle auch für die Prognose künftiger Wachstumsverhältnisse genutzt werden.

Ist die schlichte Übertragung räumlich differenzierter Muster auf zeitliche Entwicklungen aber überhaupt möglich? Dass Zweifel mehr als angebracht sind, geht aus Abb. 5 hervor, die den Zusammenhang zwischen Oberhöhenbonitäten von Fichtenbeständen in verschiedenen Höhenlagen und der Temperatur zeigt. Werden die zum jeweiligen Aufnahmezeitpunkt ermittelten Bonitäten über den in der zurückliegenden Beobachtungsperiode gemessenen Durchschnittstemperaturen dargestellt (Abb. 5, links), drängt sich auf den ersten Blick tatsächlich der Eindruck eines straffen, positiven Zusammenhangs auf. Man könnte also versucht sein, die daraus ableitbare Regression (graue Linie) für Bonitätsprognosen bei sich ändernden Klimabedingungen zu verwenden. Es müssten nur die sich aus einem Klimaszenario ergebende Temperatur in die Regression eingesetzt werden, um die erwartbare Bonität zu erhalten. Da die Regression monoton steigt, würde das allerdings bedeuten, dass steigende Temperaturen unweigerlich zu besseren Bonitäten führen.

Findet auch der zeitliche Verlauf der Entwicklung der Bonitätsmessungen Berücksichtigung, (Abb. 5, rechts: zusätzliche Linien) ergibt sich am jeweiligen Standort aber eben kein monotoner Zusammenhang zwischen Temperatur und Bonität. Eigentlich zeigen alle Versuchsflächen, dass die Bonitäten mit steigender Temperatur zunächst zwar zunahmen, dann aber bei weiterer Erwärmung wieder sanken.

Offensichtlich findet doch keine Quasi-Verschiebung kompletter Standorte in tiefere Klimate statt. Vielmehr deuten sich bezüglich der Temperatur Optimalbereiche an, ab deren Überschreitung die Bonität des Standorts dann nicht mehr weiter steigt, sondern abnimmt. Ebenfalls deutlich wird, dass sich diese Optimalbereiche zwischen den drei nach ihrer Höhenlage differenzierten Kollektiven erkennbar unterscheiden.

Daraus kann gefolgert werden, dass Modelle, deren Prognosen lediglich auf räumlichen Zusammenhängen zwischen Klima und Bonitäten beruhen, nicht sehr zuverlässig sein können, und dass die zeitlichen Dynamik zwingend mit zu berücksichtigen ist. Wie bedeutend dies für die Qualität der Bonitätsprognose ist, geht aus der in Abb. 7 dargestellten Evaluierung auf Basis von Daten der Bundeswaldinventur (BWI) hervor. Gegenübergestellt werden die an den BWI-Punkten beobachteten realen Bonitätsveränderungen von Fichten mit den anhand von Temperatur-, Niederschlags- und Stickstoff-Messwerten errechneten Prognoseergebnissen.

Abb. 6: Künftig selten? Alte Tanne im Schnee.

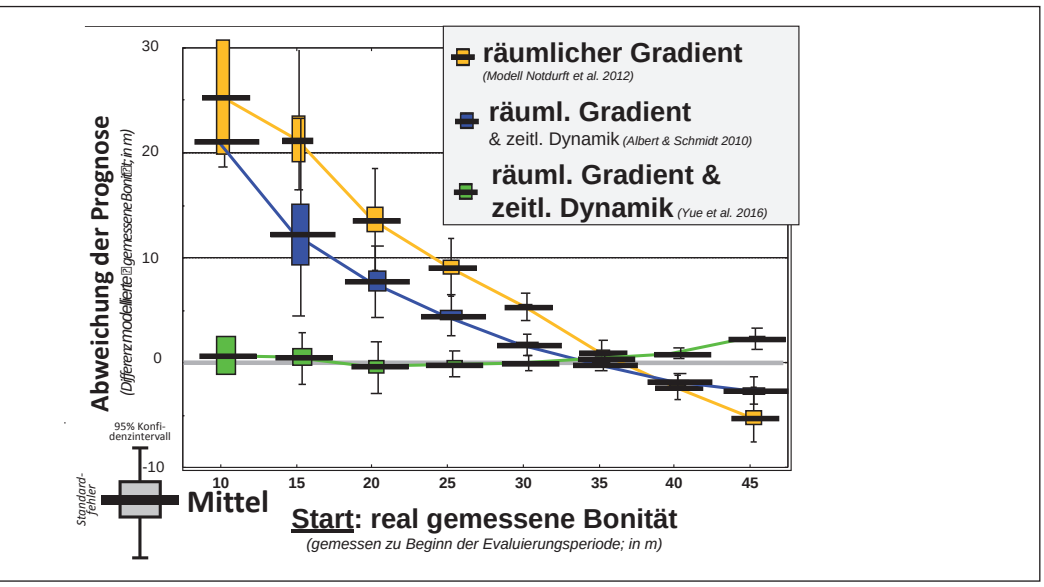


Abb. 7: Verzerrungen (bias) bei der Schätzung von Bonitätsveränderungen von Fichtenbeständen durch Modelle, bei deren Entwicklung Aspekte der zeitlichen Dynamik in unterschiedlicher Intensität einbezogen worden waren: ohne Einbeziehung (gelb), geringe (blau) bzw. explizite (grün) Einbeziehung. Die Evaluierung basiert auf den zwischen der BWI_I (1988) und BWI_III (2012) gemessenen realen Veränderungen von Bonitäten. Dargestellt sind die Abweichungen der mit den Modellen geschätzten Veränderungen von diesen real gemessenen Veränderungen differenziert für unterschiedliche Ausgangsbonitäten (Oberhöhen-Bonitäten von 10 – 45 m).

Verglichen wurden drei Modelle mit unterschiedlich starker Berücksichtigung der zeitlichen Dynamik:

- Gelb: nicht berücksichtigt (Modell Nothdurft et al. 2102),
- Blau: gering berücksichtigt (Modell Albert & Schmidt 2010 in aktualisierter Version),
- Grün: explizit berücksichtigt (Modell Yue et al. 2016).

Offenkundig führen die Schätzungen der beiden überwiegend auf Basis regionaler Gradienten entwickelten Modelle („gelb“ und „blau“) zu teilweise erheblichen Abweichungen von den realen Bonitätsentwicklungen. Insbesondere in den Bereichen besonders guter sowie besonders schlechter Bonitäten fallen die Abweichungen bereits nach kurzer Betrachtungszeit so gravierend aus, dass sie für längerfristige Prognosen nicht akzeptabel erscheinen.

Im Gegensatz dazu weichen die Schätzungen auf Basis des „grünen“ Modells, das räumliche Gradienten und zeitliche Entwicklung gleichrangig gewichtet sowie Stickstoffeintrag als Eingangsgröße mit einbezieht, von den real gemessenen Bonitätsveränderungen nur geringfügig ab. Sie weisen zudem einen trendfreien Verlauf über den gesamten Bonitätsbereich auf. Aufgrund der guten Prognosequalität diese Modells wurde daher entschieden, analog strukturierte Modelle auch für Tanne, Buche und Eiche anzupassen und in das Verfahren zur Baumarten-Eignungsbeurteilung zu integrieren.

Literatur

Albert, M., Schmidt, M., 2010. Climate-sensitive modelling of site-productivity relationships for Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) and common beech (Fagus sylvatica L.). Forest Ecology and Management 259, 739–749.

Albrecht, A., Duran-Rangel, C., Kändler, G., Schmidt, M., Yue, C., Kohnle, U., 2017. Evaluierung verschiedener klimasensitiver Bonitätsmodelle für Fichte. In: Klädtke, J. (Ed.), Tagungsband zur Jahrestagung 2017 der Sektion Ertragskunde im DVFFA in Untermarchtal, pp. 59-69.

Kohnle, U., Wolf, T., V. Wilpert, K., Yue, C., 2014. Wachstumstrends der Hauptbaumarten im Südwestdeutschland. AFZ - Der Wald 2014, 6-8.

Nothdurft, A., Wolf, T., Ringeler, A., Böhner, J., Saborowski, J., 2012. Spatio-temporal prediction of site index based on forest inventories and climate change scenarios. Forest Ecology and Management 279, 97-111, DOI: 110.1016/j.foreco.2012.1005.1018.

Yue, C., Kahle, H.-P., von Wilpert, K., Kohnle, U., 2016. A dynamic environment-sensitive site index model for the prediction of site productivity potential under climate change. Ecological Modelling 337, 48-62.

Dr. Ulrich Kohnle
FVA, Abt. Waldwachstum
Tel.: (07 61) 40 18 - 4 79
ulrich.kohnle@forst.bwl.de

Berechnung des Sturmrisikos

von Axel Albrecht und Ahssem Almehasneh

Sturmschäden stellen unter gegenwärtigen Bedingungen das höchste naturale Produktionsrisiko in europäischen (Schelhaas et al., 2003) und baden-württembergischen (Albrecht, 2009) Wirtschaftswäldern dar. Zählt man zu den ohnehin schon hohen Anteilen unplanmäßiger Nutzungen aufgrund von Stürmen auch noch Folgeschäden durch Borkenkäfer hinzu, wird klar, in welchem Maß hierdurch die Waldbauplanung wie auch die Nutzungsplanung beeinträchtigt werden. Aufgrund dieser hohen Bedeutung wurde das Sturmrisiko für zwei verschiedene Anwendungsbereiche – Baumarteneignung 2.0 und die Vulnerabilität– modellbasiert abgeschätzt und kartographisch dargestellt.

Grundlagen und Konzept

Die Sturmgefährdung wurde für diese beiden Anwendungsbereiche getrennt berechnet. Sie liegt für die drei Baumartengruppen Tanne mit Douglasie (Ta/Dgl), Buche mit Eiche (Bu/Ei) sowie Fichte (Fi) vor. Die artscharfe Trennung von Tanne und Douglasie sowie Buche und Eiche ist nicht möglich, da sich diese Baumarten im verwendeten Sturmschadensmodell nicht signifikant unterschieden.

Das Sturmschadensmodell

Für die Berechnung der Sturmgefährdung in Baden-Württemberg wurde ein von Schmidt et al. (2010) entwickeltes empirisch-statistisches Sturmschadensmodell eingesetzt. Das Modell bildet die Sturmschadenswahrscheinlichkeit ab, in Abhängigkeit von:

- Baumartengruppe
- Baumhöhe
- Baumdurchmesser
- Topographischer Exponiertheit und
- Bodeneigenschaften (nur bei Fichte Staunässe)

Der in den Karten dargestellte Prozentwert ist die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Einzelbaum beim Auftreten eines durchschnittlichen, landesweit einheitlichen Normsturms geschädigt würde (Bruch oder Wurf).

Sturmschadenswahrscheinlichkeiten für die Baumarteneignung 2.0

Für die Berücksichtigung der Sturmgefährdung bei der Baumarteneignung wurde das Sturmschadenspotential mithilfe sogenannter Durchschnittsbäume in einer Horizontalauflösung von 25 m berechnet. Das bedeutet, dass an jedem Ort in Baden-Württemberg im Abstand von 25 × 25 m hypothetisch ein Baum mit gleicher Baumhöhe und gleichem Baumdurchmesser verwendet wurde. Dies ermöglicht den Vergleich zwischen den Baumarten unter sonst gleichen Be-

Abb. 1: Fichten-Wurzelteller auf Sturmwurffläche. (Foto: Thomas Weidner)

Tab. 1: Die aus gemessenen Bäumen der BWI3 für Baden-Württemberg ermittelten Werte für Normbäume.

Baumarten-gruppe	Höhe (80. Perzentil)	h/d-Wert (50. Perzentil)
Fi	33.80 m	69.12
Ta/Dgl	35.30 m	60.49
Bu/Ei	32.46 m	65.75

dingungen, sodass das abstrakte baumartenbezogene Risikopotential für die Einstufung der Eignung zugrunde gelegt wird.

Zur Ermittlung dieser durchschnittlichen Normbäume wurde die Bundeswaldinventur 3 (BWI3) herangezogen (Kändler und Cullmann, 2016) und je Baumartengruppe die Höhe des 80. Perzentils (das ist der Höhenwert bei dem 80% der Messungen vom niedrigeren Ende her erreicht werden) und der h/d-Wert des 50. Perzentils (analog ist das der h/d-Wert bei dem 50% der Messungen erreicht werden) verwendet. Dadurch werden adulte Bäume nahe ihrer Maximalhöhe und mit mittlerem h/d-Wert zugrunde gelegt (Tabelle 1).

Diese Eingangswerte wurden in Kombination mit Daten zur orographischen Exponiertheit (sog. richtungsabhängiger Topex-Index, berechnet auf Grundlage eines digitalen Geländemodells, Details siehe Schmidt et al. (2010)) und Staunässe (basierend auf der Standortskartierung, nur für Fichte relevant) in Sturmschadenswahrscheinlichkeiten umgerechnet.

Sturmschadenswahrscheinlichkeiten für die Vulnerabilitätskarten

- Getrennt nach Baumarten: Für die Berücksichtigung der Sturmwurfgefährdung bei der Vulnerabilität wurde der heutige Zustand der Wälder in Baden-Württemberg mit einer Auflösung von 20 x 20 m verwendet. Zunächst wurde je Baumartengruppe eine flächendeckende Sturmvulnerabilitätskarte für die gesamte Waldfläche angefertigt. Die baumartenweisen Sturmvulnerabilitätskarten werden daher auch auf Flächen angezeigt auf denen die jeweilige Baumart in der Realität derzeit nicht steht. Aus Stereoluftbildern wurde dabei die Baumhöhe als Vegetationsoberhöhe ermittelt (nDSM normalized Digital Surface Modell der Jahre 2014-2017, auch als Höhenstrukturkarte bekannt, Kirchhoefer et al., 2017) und als Maximalwert je 20 m-Rasterzelle verwendet. Für die Berechnung der diesen Baumhöhen entsprechenden Baumdurchmesser und, daraus abgeleitet, der h/d-Werte je Rasterzelle wurde ein Bundeswaldinventur-basiertes h/d-Wert-Modell verwendet (entwickelt durch G. Kändler, Abt. Bul der FVA, Details siehe Albrecht und Almehasneh, 2018). Die topographische Exponiertheit (Topex-Index) wurde analog zum Vorgehen bei den Baumarteneignungskarten berücksichtigt. Für Fichte wurde je eine Karte unter Annahme nicht vernässender sowie vernässender Standorte erstellt.
- Baumartenübergreifend: Für die Berechnung der baumartenübergreifenden Sturmvulnerabilität wurden in standortskartierten Wäldern für die Fichte die Information „Staunässe ja/nein“ berücksichtigt. In nicht-standortskartierten Wäldern wurden pauschal nicht-vernässende Böden angenommen. Für die Zuordnung einer Rasterzelle zu einer der Baumartengruppen wurden alle im Wald liegenden Rasterzellen anhand von Satellitendaten des Jahres 2017 in die oben genannten Baumartengruppen eingeteilt. Die Klassifikation erfolgte einmalig als sogenannte überwachte numerische Klassifizierung auf Rasterzellenbasis anhand der Spektralbänder des Sentinel-2-Datensatzes (ESA, 2017). Die Sturmvulnerabilität ist damit abhängig von der real vorhandenen Baumart, der realen Baumhöhe, dem h/d-Wert, der topographischen Exponiertheit und bei Fichte auch von der Staunässe. Bei der Berechnung der Vulnerabilität fließt die Sturmschadenswahrscheinlichkeit als kontinuierlicher Wert ein und liefert Hinweise auf besondere Gefährdungs-Hotspots der heutigen Wälder.

Die Sturmgefährdung ist für die verschiedenen Klimaszenarien identisch, denn es ist noch unklar, ob großflächige Winterstürme in Häufigkeit oder Intensität künftig signifikant zunehmen (Albrecht et al., 2009; Feser et al., 2015; Mölter et al., 2016). Außerdem liegen auch keine Klimaprojektionsdaten mit verschiedenen Böengeschwindigkeiten für die unterschiedlichen Klimaszenarien vor. Insofern wird für die Beurteilungen ein gleichbleibend hohes allgemeines Sturmrisiko angenommen. Mehr Informationen zur Methodik können bei Albrecht und Almehasneh (2018) eingesehen werden.

Ergebnisse

Sturmrisiko und Baumarteneignung

Abweichend von der Ergebnispräsentation in Form der groben Risikoklassen - die z.B. in den Beiträgen Wasserhaushaltsmodell und Trockenstress, Artverbreitungsmodelle sowie PHENIPS zur Buchdruckerrisikoabschätzung verwendet wurden, ist beim Sturmrisikomodell eine feinere Klassifizierung sinnvoll, um räumliche Unterschiede offenzulegen. Die unterste Klasse weist eine Sturmschadenswahrscheinlichkeit von 0 - 0,025 (also 2,5%) auf, die höchste Gefährdungsklasse beinhaltet Wahrscheinlichkeiten von über 0,401 (d.h. über 40,1%).

Die größten Unterschiede zeigen sich zwischen den Laubbaumartengruppen Buche/Eiche, für die sich eine geringe Sturmschadenswahrscheinlichkeit ergibt (grüne und graue Farbtöne, linke Teilgrafik in Abb. 2) und der Fichte, für die hohe Werte errechnet wurden (gelbe und orange Farbtöne, rechte Teilgrafik). Der landesweite Mittelwert für Buche/Eiche beträgt 2 %, der von Fichte 8,7 % und der von Tanne/Douglasie 8,8 %. Da die Ergebnisse für die Baumartengruppe Tanne/Douglasie denen der Fichte sehr ähnlich sind, wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit auf eine eigene grafische Darstellung für Tanne/Douglasie verzichtet.

Für die Baumarteneignungsbeurteilung wurden diese kontinuierlichen Wahrscheinlichkeiten mithilfe der Schwellenwerte von 5 und 10 % in drei Risikoklassen eingeteilt, bei deren Über- und Unterschreitung das Kriterium Stabilität modifiziert wurde (siehe Artikel „Multikriterielle Bewertungen“ und „Baumarteneignung 2.0 und Vulnerabilitätskarten“).

Die Bilanzierung dieser Risikoklassen je Baumartengruppe für den gesamten Wald und nach Wuchsgebieten bestätigen die klaren Unterschiede zwischen Laub- und Nadelbaumarten. Während bei den Laubbaumarten unabhängig vom Wuchsgebiet nur ein sehr geringes Sturmrisiko prognostiziert wird (alle Wuchsgebiete liegen in der geringsten Risikoklasse 0), haben die Nadelbaumartengruppen generell ein deutlich erhöhtes und zwischen den Wuchsgebieten variierendes Risiko, wobei die unterschiedlichen Anteile an staunassen Böden sowie die orographischen Verhältnisse hierfür ursächlich sind (Daten nicht dargestellt). Da zwischen den RCP Szenarien 4.5 und 8.5 keine Unterschiede hinsichtlich der Windgeschwindigkeit oder der Sturmhäufigkeit unterstellt wurden, ergeben sich auch in den Risikoklassen keine Unterschiede.

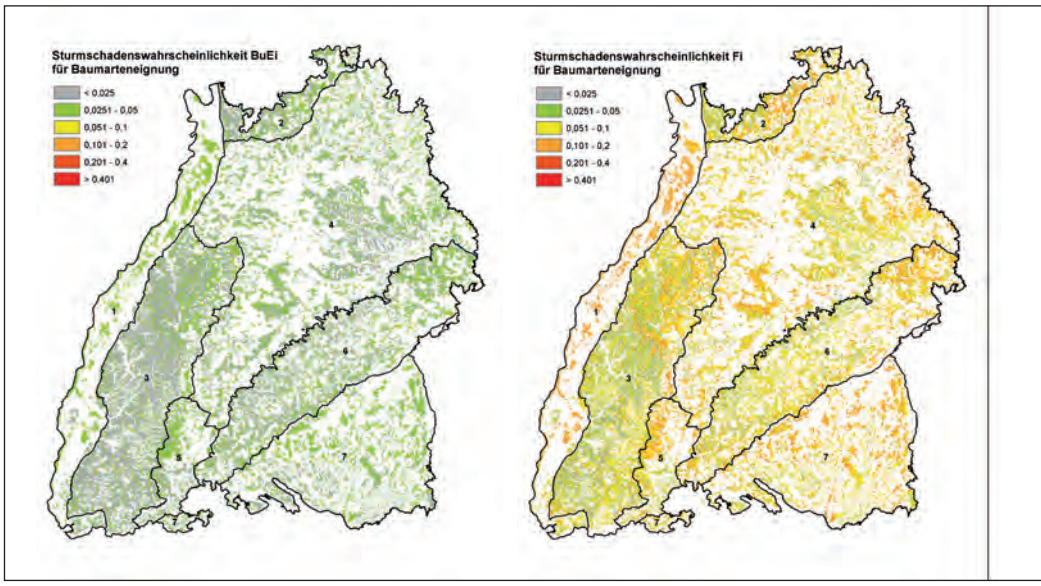


Abb. 2: Karten der Sturmschadenswahrscheinlichkeiten für die Baumarteneignungsbewertung , beispielhaft für die Baumartengruppe Buche/Eiche (links) sowie Fichte (rechts). Zugrunde gelegt wurden je Baumart die in Tabelle 1 gelisteten Normbäume sowie ein Normsturm. Die Ziffern bezeichnen die Wuchsgebiete: 1 = Oberrheinisches Tiefland, 2 = Odenwald, 3 = Schwarzwald, 4 = Neckarland, 5 = Baar-Wutach, 6 = Schwäbische Alb, 7 = Südwestdeutsches Alpenvorland.

Sturmrisiko und Vulnerabilität

- Baumartengetrennt: Auch bei den Sturmvulnerabilitätskarten kommen die Unterschiede zwischen den Baumartengruppen klar zum Ausdruck: während bei Buche/Eiche sehr geringe Wahrscheinlichkeiten (Mittelwert 0,8 %) dominieren, treten bei Tanne/Douglasie mittlere Wahrscheinlichkeiten auf (Mittelwert 3,2 %). Unter Annahme nicht-vernässender Standortsbedingungen prägen bei der Fichte ebenso mittlere Wahrscheinlichkeiten die Karten (Abb. 3, Mittelwert 4,2 %, gelbe und orange Farbtöne), wohingegen unter Annahme vernässender Standortsbedingungen mittlere bis hohe Wahrscheinlichkeiten (Mittelwert 7 %, orange bis rote Farbtöne) auftreten.
- Baumartenübergreifend: Die baumartenübergreifende Zusammenschau identifiziert Bereiche mit besonders hoher Sturm-

Tab. 2: Schadenswahrscheinlichkeit der baumartübergreifenden Sturmvulnerabilität für die forstlichen Wuchsgebiete

Wuchs-gebiet	Mittel-wert	MAX
1	0,0143	0,38
2	0,0264	0,44
3	0,0290	0,49
4	0,0240	0,49
5	0,0464	0,37
6	0,0210	0,38
7	0,0426	0,46

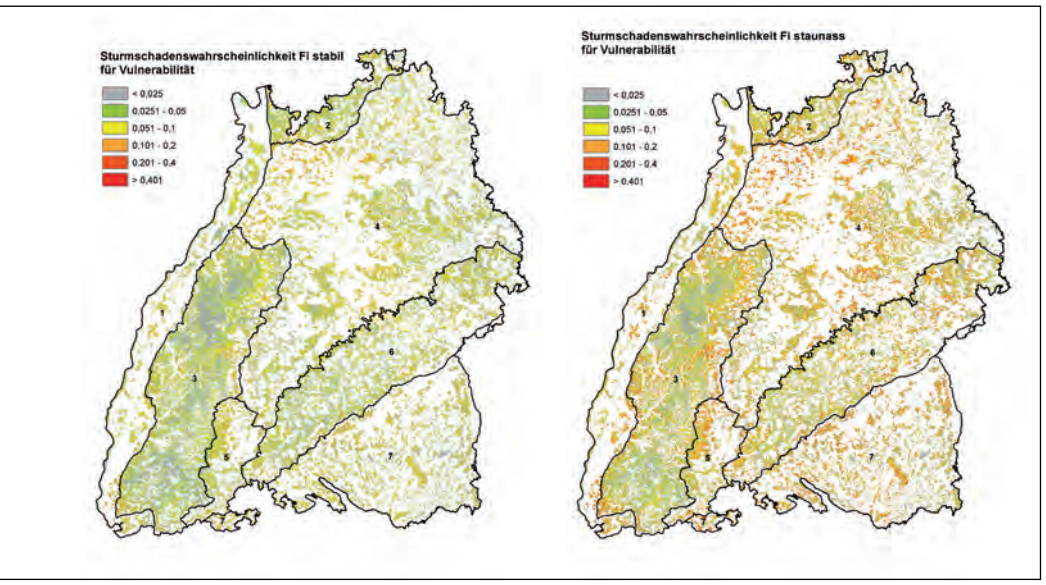


Abb. 3: Karten der Sturmschadenswahrscheinlichkeiten für die Vulnerabilitätsbewertung exemplarisch für die Baumart Fichte. Zugrunde gelegt wurden die aus den Satellitendaten mit Auflösung 20 x 20 m abgeleiteten realen Baumhöhen sowie ein Normsturm. Zu den Ziffern siehe Abbildung 1.

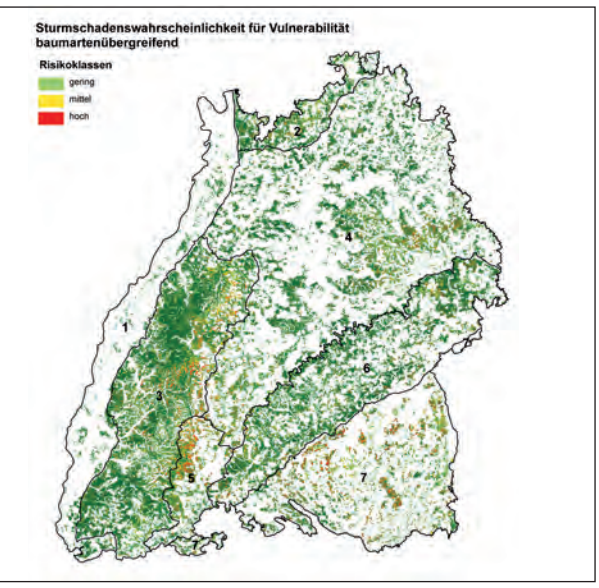


Abb. 4: Baumartenübergreifende Sturmvulnerabilität. Die errechneten Sturmschadenswahrscheinlichkeiten wurden in Risikoklassen unterteilt.

vulnerabilität für den Ostabfall des Schwarzwalds, den Nordwestteil von Baar-Wutach, den Schwäbisch-Fränkischen Wald (im Osten von Wuchsgebiet 4) und größere Flächenanteile des Südwestdeutschen Alpenvorlands (Abb. 4). In deutlich geringerem Umfang sind auch die Ostalb und Teile des Odenwaldes betroffen. Anhand der Mittelwerte der zugrundeliegenden Wahrscheinlichkeiten je Wuchsgebiet fallen Baar-Wutach (5) und das Südwestdeutsche Alpenvorland (7) als besonders gefährdet auf (Tabelle 2). Die absolut höchsten Werte (MAX) treten jedoch mit 49 % (0,49) in den Wuchsgebieten Schwarzwald (3) und Neckarland (4) auf.

Interpretation und Anwendung

Die insgesamt betrachtet geringen Wahrscheinlichkeitswerte in beiden Typen von Sturmkarten könnten zunächst die Schlussfolgerung nahelegen, dass das Sturmrisiko allgemein niedrig und damit vernachlässigbar ist. Dieser Schluss ist bei Werten von unter 1 % auch zutreffend. Allerdings bedeutet ein landesweiter Mittelwert von 4,2 %, wie in der Sturmvulnerabilitätskarte für Fichte auf stabilen Standorten, dass beim Auftreten eines Sturms im landesweiten Mittel 4,2 % der Fichten geschädigt würden. Bezieht man diesen Anteil jedoch auf die besonders windexponierten Lagen und Wälder mit besonders hohen Bäumen, sind dort flächige Schäden enormen Ausmaßes zu erwarten.

Die Karten der Sturmschadenswahrscheinlichkeiten fließen zunächst in die Beurteilung der Baumarteneignung und der Vulnerabilität mit ein. Die hierfür eingesetzten Methoden sind im Beitrag „Multikriterielle Bewertungen“ näher erläutert und im Gesamtergebnis im Beitrag „Baumarteneignung 2.0 und Vulnerabilitätskarten“ präsentiert.

Ergänzend zu dieser aggregierten Betrachtungsweise können insbesondere die Sturmvulnerabilitätskarten jedoch auch für die forstliche Jahresplanung oder die Verjüngungsplanung in der Forsteinrichtung angewendet werden. Auf der Ebene von Distrikten, Forstrevieren und unteren Forstbehörden oder Betriebsteilen kann anhand entsprechender Kartenausschnitte die aktuelle Gefährdung beurteilt werden. Offensichtlich kommt die höchste Risikoklasse häufig in Wäldern mit hohen Nadelbäumen vor. Hier wären dann zur Verringerung des Sturmschadensrisikos die zügige Hauptnutzung und anschließend ggf. ein Baumartenwechsel hin zu risikoärmeren Baumarten zu erwägen. Im Umkehrschluss können aber auch solche Nadelbaumbestände identifiziert werden, die zwar möglicherweise hohe Bäume beinhalten, aufgrund ihrer standörtlichen und/oder orographischen Lage jedoch nicht in die höchste

Risikoklasse eingestuft sind. In diesen Beständen sind Maßnahmen zur Reduktion des Sturmrisikos derzeit nicht prioritär. Auch eine Differenzierung innerhalb einzelner Waldbestände nach risikoreicheren und –ärmeren Bestandteilen wird auf der Grundlage dieser feinaufgelösten Sturmvulnerabilitätskarten möglich (Abb. 5).

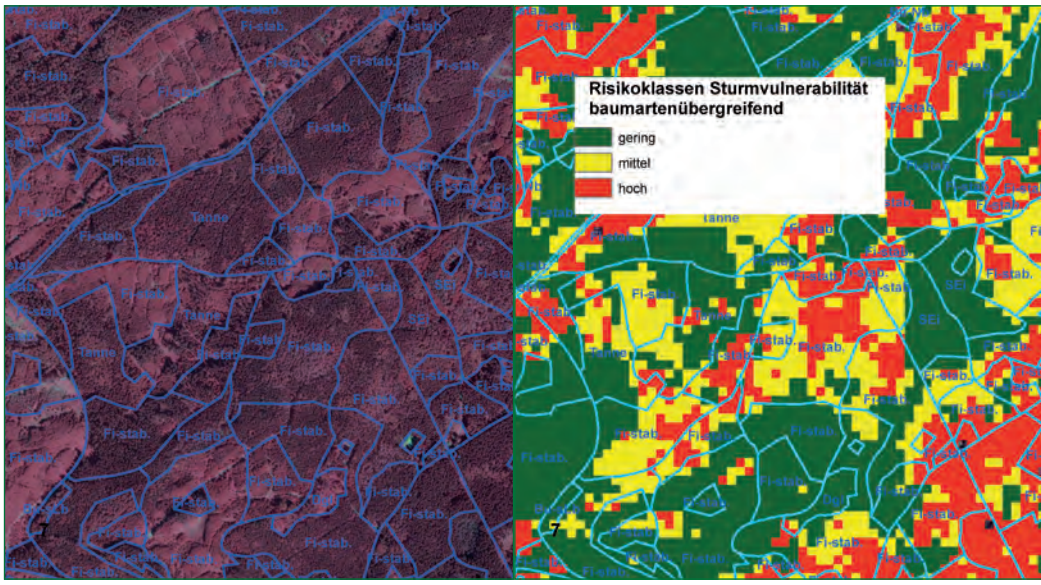


Abb. 5: Beispielhafter Kartenausschnitt eines Luftbilds mit überlagerter Waldeinteilung nach Forsteinrichtung (links), sowie der Waldeinteilung mit Sturmvulnerabilitätsklassen (rechts). Blauer Text bezeichnet den landesweiten Waldentwicklungstyp. Geobasisdaten © Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg, http://www.lgl-bw.de/, Az.: 2851.9-1/19, Waldeinteilung nach FOGIS.

Dr. Axel Albrecht
FVA, Abteilung Waldwachstum
Tel.: (07 61) 40 18 - 7 51
axel.albrecht@forst.bwl.de

Literatur

Albrecht, A., 2009. Sturmschadensanalysen langfristiger waldwachstumskundlicher Versuchsflächendaten in Baden-Württemberg, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. University Freiburg, Freiburg, S. 174.

Albrecht, A., Almehasneh, A., 2018. Sturmgefährdungskarten für Baden-Württembergs Wälder als Grundlage für mittel- und langfristige Planungen. KLIMOPASS, Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg, Abschlussbericht KLIMOPASS, Projektnr: 4500519368/23.

Albrecht, A., Schindler, D., Grebhan, K., Kohnle, U., Mayer, H., 2009. Sturmaktivität über der nordatlantisch-europäischen Region vor dem Hintergrund des Klimawandels – eine Literaturübersicht. AFJZ 180, S. 109-118.

ESA, 2017, Sentinal 2 - im Dienste der Ernährung, http://www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/Sentinel-2_im_Dienste_der_Ernaehrung, zuletzt abgerufen am 15.07.2017.

Feser, F., Barcikowska, M., Krueger, O., Schenk, F., Weisse, R., Xia, L., 2015. Storminess over the North Atlantic and northwestern Europe -A review. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 141, S. 350-382.

Kändler, G., Cullmann, D., 2016. Regionale Auswertungen der Bundeswaldinventur 3 - Land Baden-Württemberg. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.

Kirchhoefer, M., Schumacher, J., Adler, P., Kändler, G., 2017. Considerations towards a Novel Approach for Integrating Angle-Count Sampling Data in Remote Sensing Based Forest Inventories.

Mölter, T., Schindler, D., Albrecht, A.T., Kohnle, U., 2016. Review on the Projections of Future Storminess over the North Atlantic European Region. Atmosphere 7, S. 1-40.

Schelhaas, M.-J., Nabuurs, G.-J., Schuck, A., 2003. Natural disturbances in the European forest in the 19th and 20th centuries. Global Change Biology 9, S. 1620-1633.

Schmidt, M., Hanewinkel, M., Kändler, G., Kublin, E., Kohnle, U., 2010. An inventory-based approach for modeling single tree storm damage - experiences with the winter storm 1999 in southwestern Germany. Can. J. For. Res. 40, S. 1636–1652.

Praxischeck prozessbasiertes 4-3-2 Krisenmanagement

von Christoph Hartebrodt und Yvonne Hengst-Ehrhart

Krisenmanagement zählt zweifelsfrei nicht zu den beliebtesten Themen und wird im Tagesgeschäft häufig verdrängt. Gerade der Umgang mit unvorhersehbaren Ereignissen erfordert jedoch ein hohes Maß an Planung und Vorbereitung. Nachfolgend wird ein Bericht über den Echtbetrieb eines Krisenmanagement-Konzepts gegeben.

Die Rahmenbedingungen

Der Dürresommer 2018 in Verbindung mit weiteren abiotischen Schadereignissen wie Sturm und Schneebruch hat eine Ausgangsituation geschaffen, sodass bei ungünstigem Witterungsverlauf eine Großkalamität im Stil der Nachkriegsjahre nicht ausgeschlossen werden kann. Damit könnte in Baden-Württemberg eine fast 20 jährige Periode enden, in der das Thema Krisenmanagement allenfalls regional und mit jeweils kürzerer Zeitspanne eine Rolle gespielt hat. Im Hinblick auf ein Bestandesleben sind zwei Dekaden nicht viel, bezogen auf die Verfügbarkeit von Erfahrungswissen im Umgang mit Krisensituationen jedoch eine halbe Ewigkeit. Allein die Tatsache, dass in dieser Zeit ca. 50 Prozent eines Personalkörpers altersbedingt ausscheiden, zeigt schon auf, dass kaum noch mit nennenswerter Expertise gerechnet werden kann. Die großräumige Trockenheit als wesentliche Triebfeder der aktuellen Krise führt zudem dazu, dass die räumliche Ausdehnung der betroffenen Fläche weit größer ist, als dies bei Sturmbahnen der Fall war. Konnte man bisher im Regelfall davon ausgehen, dass zusätzliche Arbeitskapazität in die betroffenen Flächen „einwandert“ und eine Intensivierung von Fernverkäufen von Holz maßgeblich zu einer Entlastung der regionalen Märkte beiträgt, ist aktuell eher vom Gegenteil auszugehen. Das Thema Krisenmanagement, das von der Abteilung Forstökonomie und Management seit dem Sturmereignis Lothar im Jahr 1999 ununterbrochen - aber weitgehend unbemerkt - bearbeitet wurde, stand damit plötzlich im Mittelpunkt des Interesses. Eine Analyse zeigte zudem schnell, dass es sich bewahrheitet hatte, dass die Phase der so genannten „Normalität“ die Gefahr der geringen Befassung und Vorbereitung mit sich gebracht hatte. Ungewollt wurde es damit notwendig, ein methodisch in sich geschlossenes Konzept zum Krisenmanagement, das in den letzten Jahren entwickelt worden war, schnell in den Praxiseinsatz zu bringen.

Das Konzept

Der fachliche Hintergrund und zentrale Problemfelder im forstlichen Krisenmanagement wurden in der AFZ-DerWald 7-2019 beschrieben. An dieser Stelle werden daher die Grundzüge des Konzepts nur noch grob skizziert.

Grundsätzlich ist zunächst festzuhalten, dass wirkungsvolles Krisenmanagement vier Phasen (Vorbeugung, Vorbereitung, Bewältigung, Wiederherstellung) umfasst. Im Hinblick auf den aktuell geringen zeitlichen Vorlauf der Problemlage wurde die Nutzung des Konzepts bisher nur auf die aktuell anstehenden Phasen Vorbereitung und Intervention angewendet.

Zentraler Baustein ist eine Prozesslandkarte, die alle relevanten Prozessschritte darstellt, die für ein erfolgreiches Krisenmanagement erforderlich sind. In Abb. 1 ist die aktuelle Version der Prozesslandkarte für die Phasen Vorbereitung und Intervention dargestellt.

Schon die Erfahrungen aus Krisen der Vergangenheit wie z. B. Lothar haben gezeigt, dass die Lösung des Problems keinesfalls allein im Wald gesucht werden kann. Oft sind es

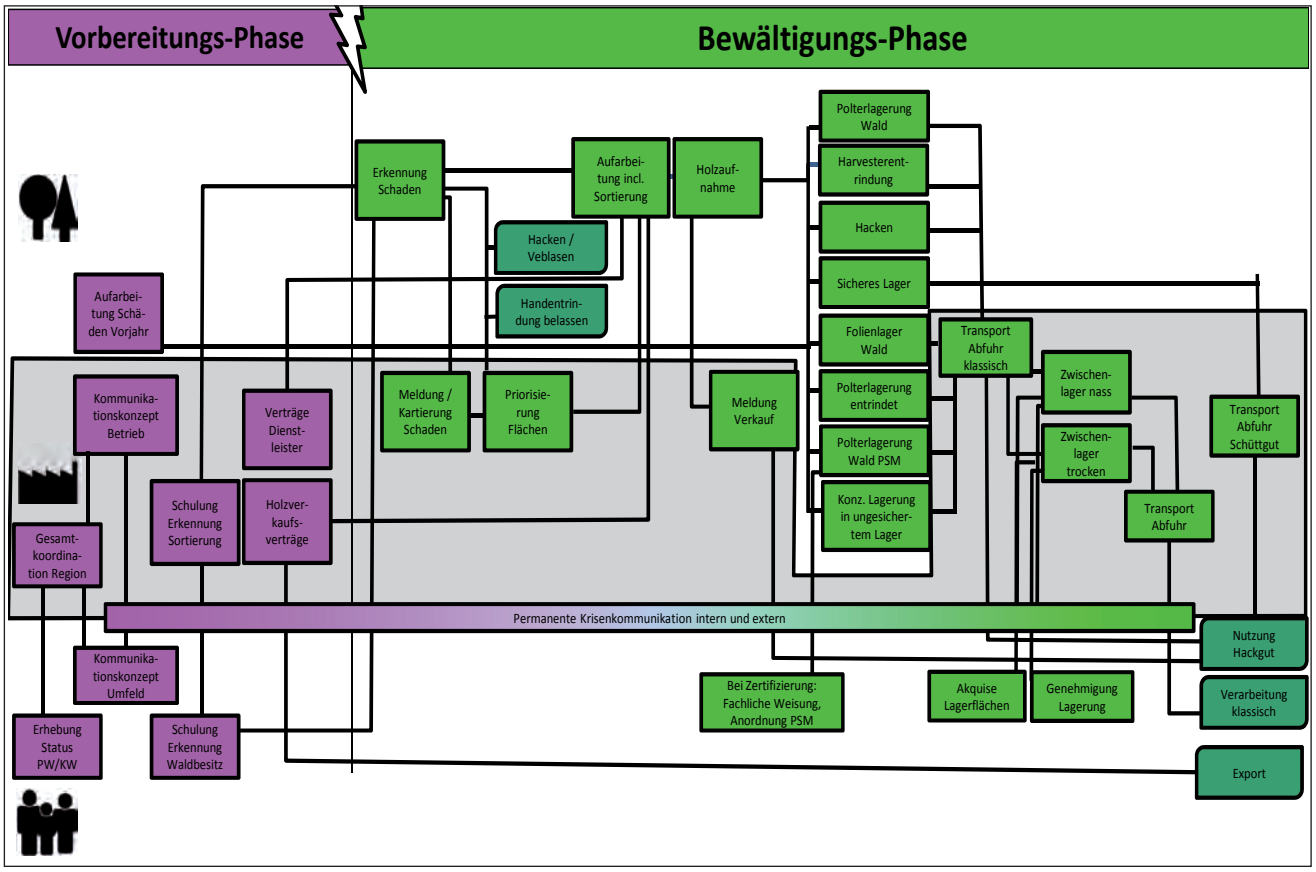


Abb. 1: Diese Prozesslandschaft dient dazu, allen Beteiligten die eigene Rolle und Aufgabe(n) im Gesamtprozess des Krisenmanagements zu verdeutlichen. Damit kann das Bewusstsein wachsen, dass der eigene Erfolg in vielen Fällen vom Funktionieren vorgelagerter oder nachlaufender Prozessschritte abhängt.

die betrieblichen Strukturen oder gesetzlich-gesellschaftlichen Umfeldbedingungen, die wirksames Krisenmanagement fördern oder behindern können. Insofern werden die Prozessschritte drei Ebenen zugeordnet (Wald, Forstbetrieb, Umfeld).

Um Überlastungserscheinungen zu mindern und jeweils die bestmögliche Expertise zu nutzen, fordert das Konzept eine konsequente Bewertung und Zuordnung ein, ob eine Aktivität mit eigenen Mitteln durchgeführt wird, oder mit möglichst frühzeitiger Planung von externen Kapazitäten geleistet wird. Dabei geht der Einsatzbereich von Dritten über die Klassiker wie Holzeinschlags- und andere operative Betriebsarbeiten auf der Waldfläche hinaus. Die Frage welche der zwei Parteien (Eigen-/Fremdleistung) eingesetzt werden soll, ist daher ebenfalls immer zu beantworten.

Der Realbetrieb

Nach Vorstellung und Diskussion des Konzepts mit europäischen Krisenexperten im Kontext der „European Forest Risk Facility“, wurde der Ansatz Ende Januar in einem FVA-Sonderkolloquium in Baden-Württemberg vorgestellt. Daraufhin haben sich bisher drei UFB’en und das Landesministerium an die FVA gewandt und um Durchführung von Krisenmanagement-Workshops auf der Basis des prozessbasierten 4-3-2 Krisenmanagement gebeten. Diese Workshops wurden von Ende Januar bis März durchgeführt.

Die Zusammensetzung der Teilnehmergruppen war unterschiedlich. In einem Fall handelte es sich um eine verwaltungsinterne Veranstaltung, einmal waren Forstverwaltung und waldbesitzseitige Vermarktungsorganisationen involviert. Zweimal wurde das ganze Spektrum von Beteiligten abgedeckt, indem zusätzlich auch Holzkäufer, Dienstleister und kommunale Vertreter in die Workshops eingebunden waren.

Die wesentlichen Elemente der Workshops waren eine Klärung der Hauptziele des Krisenmanagements, eine Identifikation von Schwachstellen durch eine Analyse vom Ende der Prozesskette bis zu deren Anfang und eine Ableitung von Maßnahmen für die wichtigsten Schwachstellen. Alle Veranstaltungen zeigten einen erkenn-

Aktivitätssteckbrief Krisenmanagement Borkenkäfer				
Aktivität Name	**Revierweises Hiebs- und Lagerungskonzept**			
Aktivität Beschreibung	Je nach Abfluss der Hölzer über HVS muss das Holz bis zur Abfuhr oder weiteren Verarbeitung (im Wald) gelagert werden. Wichtig ist hierbei, dass der Käfer keine weiteren stehenden Bäume befallen darf. Hierfür sind verschiedene Maßnahmen notwendig oder deren Möglichkeit im Revier zu prüfen und umzusetzen. • Sortimentierung mit HVS abstimmen, möglichst Kontinuität der Sortimente • enge Abstimmung mit HVS notwendig • Bilden von größtmöglichen Abfuhreinheiten min. 10 fm pro Polterplatz (Lang- und Kurzholz!) • Konzentrierte Lagerung im Revier, wo ggf. späterer PSM-Einsatz möglich ist • Kommunikation mit Waldbesitzenden, über ggf. erhöhte Transportkosten oder Entrindungskosten • Prüfen der Varianten: Lagerung in unkritischen Bereichen (Wald, Offenland), Entrindung (maschinell/händisch), PSM-Einsatz • Prüfen im Revier wo ist PSM-Einsatz ggf. möglich (Wasserschutzgebiete, Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete)			
Zu erstellendes Produkt / Dienstleistung	Hiebs- und Lagerungskonzept je Revier			
Phase	**Prävention** ☐	**Vorbereitung** ☐	**Intervention** ☒	**Wiederherstellung** ☐
Ebene	**Wald** ☒	**Betrieb** ☒	**Umfeld / Politik / Gesellschaft** ☐	
Verantwortlich (Name)	Revierleitungen, Holzverkaufsstelle			
Zu erledigen bis (Datum)	Ab 1. Schwärmflug			
Durchführung durch	**Name** Revierleitungen HVS	**Adresse** **Telefon** **Mobil** **E-Mail**		
Betroffene Intern	HVS KFA			
Betroffene Stakeholder und Dritte	Waldbesitzenden Holzkäufer			
Erforderliche Zuarbeiten / Genehmigungen	Unternehmer PSM, Entrindung und Transport	**Zuständige Stelle**		
Erforderliche Ressourcen	Spritzmittel, Transportkapazität, Rückewagen			
Sonstiges				

Abb. 2: Beispiel für einen Maßnahmensteckbrief

baren „Zustimmungsbogen“ in der Form, dass die ungewohnte, stark schematisierte Vorgehensweise zunächst auf Skepsis stieß, im weiteren Verlauf aber durchweg als sehr hilfreich empfunden wurde. Unisono wurde in den Feedbackrunden bestätigt, dass die Visualisierung des Gesamtprozesses die Entwicklung einer gemeinsamen Wahrnehmung der Problemlage ermöglicht und eine Einordnung des eigenen Beitrags zur Umsetzung eines erfolgreichen Krisenmanagements erheblich erleichterte.

Aufgrund der guten Erfahrungen wurde der Ansatz Ende Mai 2019 allen unteren Forstbehörden im Rahmen einer halbtägigen Informationsveranstaltung vorgestellt und die Nutzung der Prozesslandschaft zur Schwachstellenanalyse und Strukturierung der eigenen Krisenmanagementaktivitäten exemplarisch geübt. Die rege Nachfrage nach den Unterlagen, die im Anschluss an die Informationsveranstaltungen einsetzte und die Rückmeldungen in den Veranstaltungen ließen ebenfalls auf eine hohe Akzeptanz des Ansatzes schließen.

Die Workshopergebnisse

Im Durchschnitt wurden je Workshop im Durchschnitt 16 Krisenmanagementaktivitäten identifiziert und zumindest initial ausgearbeitet. Eine Zuteilung der Einzelmaßnahmen zu den Phasen Vorbereitung und Intervention zeigt, dass 40 Prozent der Maßnahmen der Vorbereitungsphase zugeordnet werden können, während ca. 60 Prozent ihre Wirkung hauptsächlich während der Interventionsphase, also zwischen der Erkennung des Befalls und endgültigem Ausschluss eines Sekundärschadens durch Ausflug der Käfer aus dem aufgearbeiteten Holz entfalteten.

Noch aufschlussreicher ist die Betrachtung der Verteilung über die verschiedenen Ebenen. Nur fünf Prozent der neu identifizierten spezifischen Krisenmanagementaktivitäten lassen sich der Ebene Wald zuordnen. 53 Prozent der Maßnahmen ließen sich der betrieblichen Ebene zuordnen und 42 Prozent der Aktivitäten richteten sich an das betriebliche Umfeld.

Eine Betrachtung der Einzelaktivitäten führt zu dem Schluss, dass Themen wie (1) die Etablierung von spezifischen Verfahren zur internen und externen Krisenkommunikation, (2) Lagerungskonzeptionen innerhalb und außerhalb des Waldes und (3) die frühzeitige Sicherstellung von Unternehmern und Aufarbeitungskapazitäten regelmäßig in den Maßnahmenlisten enthalten waren. Auch die (4) Etablierung von regi-

onalen Koordinationsstellen oder -gremien war vielfach im Katalog der Ergebnisse.
Auf der anderen Seite lässt der Blick in die Maßnahmenlisten auch klar erkennen, dass selbst in benachbarten Landkreisen mit ähnlicher naturaler Ausstattung ganz unterschiedliche Herausforderungen identifiziert wurden, die folgerichtig zu unterschiedlichen Aktivitäten führten.
Im Nachgang zu den Veranstaltungen sind unterschiedliche Produkte erstellt worden. Teilweise wurden die angebotenen Muster-Aktivitätssteckbriefe ausgefertigt (Abb. 2), teilweise wurden Maßnahmenübersichten gefertigt.
Unabhängig von der Art der Darstellung wurden die wesentlichen W-Fragen (Wer macht was, bis wann, warum und wie) eindeutig und kommunizierbar zusammengefasst. Es hat sich gezeigt, dass die Fähigkeit zur Kommunikation erforderlicher Maßnahmen, die auf einer vorzeig- und nachvollziehbaren Schwachstellenanalyse aufbauen, die Umsetzung nebst Bereitstellung von Ressourcen vielfach unterstützt und beschleunigt hat. Gerade in der Kommunikation mit politischen Entscheidungsträgern erweist sich der Ansatz als hilfreich.

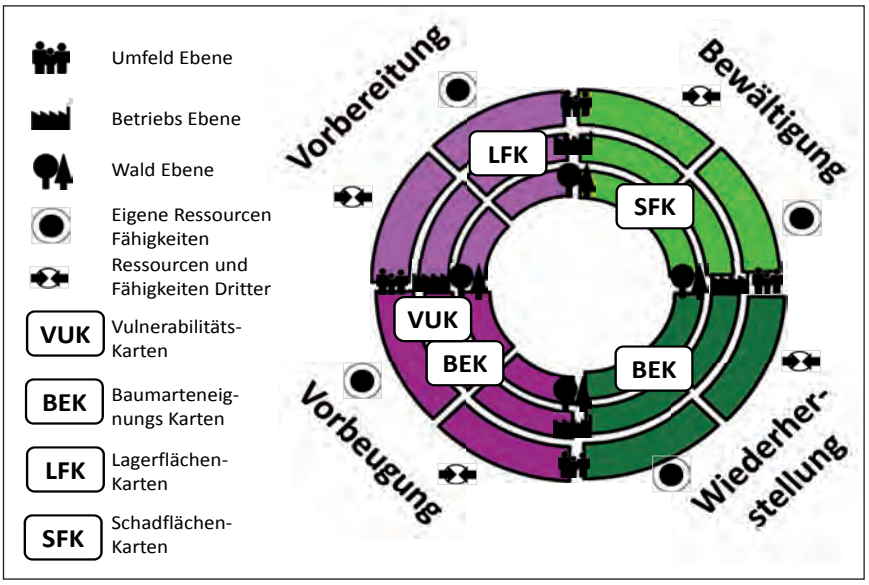


Abb. 3: Einordung von Kartenwerken in den PB432KM Zyklus

Baumarteneignungs- und Vulnerabilitätskarten

Die in dieser Nummer des Einblicks vorgestellten, wichtigen Instrumente Baumarteignungs- und Vulnerabilitätskarten sollen an dieser Stelle in den Kontext des prozessbasierten 4-3-2 Krisenmanagements eingeordnet werden.
Die Baumarteneignungskarten lassen eindeutig der Handlungsebene Wald und zwei Phasen des Krisenmanagement-Prozesses zuordnen. Sie können und sollen dazu genutzt werden, um konkrete, also flächenbezogene Entscheidungen für eine Wiederbestockung oder planmäßige Verjüngung zu treffen. Findet die Verjüngung im Rahmen planmäßiger Verfahren statt, stellt die Nutzung der Karten einen Prozessschritt der Präventionsphase dar. Im Falle der Wiederbestockung nach einer Kalamität ist die Nutzung von Baumarteneignungskarten in die Phase der Wiederherstellung einzuordnen. In beiden Fällen zielt die erwünschte Wirkung darauf, dass in der Zukunft Eintrittswahrscheinlichkeit und Stärke der Krisen reduziert werden.
Die Vulnerabilitätskarten stellen dagegen primär ein Instrument zur gesamtbetrieblichen Risikominimierung dar. Eine konsequente Priorisierung der Verjüngungsnutzungen in Beständen mit hoher Mortalitätswahrscheinlichkeit kann vergleichsweise schnell dazu beitragen, die Wahrscheinlichkeit von Zwangsnutzungen zu mindern. Eine primär risikoorientierte Hiebsreihung dient dabei verschiedensten Zielen. So trägt eine Vermeidung von Sturmschäden markant zur Vermeidung von Arbeitsunfällen bei und stellt einen wichtigen Beitrag zum Zivilschutz dar. Selbstverständlich sind auch betriebswirtschaftlich positive Effekte gegeben, da der Anteil von Holz, der zu „Kalamitätspreisen“ vermarktet werden muss, sinkt. Diese Karten werden von der Systematik her betrachtet grundsätzlich in der Phase der Krisenvorbeugung eingesetzt.
Eine Erfassung von Kalamitätsflächen, z. B. über die BOKÄMAN-App stellt, ergänzend dargestellt, einen Prozessschritt der Krisenbewältigung dar, eine Karte mit Lagerflächen wäre primär in der Vorbereitungsphase einsetzbar. Diese Zusammenstellung zeigt, wie das Instrument „Kartenwerk“ unterschiedliche Funktionen im Krisenmanagementprozess einnimmt (Abb. 3).

Bewertung und Ausblick

Gerade in der aktuellen Situation, die dadurch geprägt ist, dass die Problembehandlung im Wald durch schwierige Umfeldbedingungen (fehlende Vermarktungsmöglichkeiten und Aufarbeitungskapazitäten, skeptische Grundeinstellung gegenüber forstlichen Maßnahmen) geprägt ist, bietet das Verfahren eine Möglichkeit, die Komplexität des Problems zu erfassen, zu visualisieren und partizipative Lösungsansätze zu entwickeln.
Neben der Nutzung für die Erstellung von regionalen oder betriebsbezogenen Krisenmanagement-plä-

Abb. 4: Projektlogo.

nen lässt sich der Ansatz auch für eine Szenarienanalyse nutzen. Eine Bewertung, welche Schwachstellen an welchen Stellen bei unterschiedlicher Intensität eines Krisenereignisses auftreten, sollte auf der Basis des Gesamtprozesses leichter gelingen als bei isolierter Betrachtung einzelner Prozessschritte. Mittelfristig wäre es in der Erwartung einer höheren Frequenz von witterungsbedingten Krisenlagen wichtig, proaktive und sektorspezifische Krisenaktionspläne zu entwickeln, da bei begrenzten Möglichkeiten der Vermeidung von Extremwetterlagen nur gemeinschaftlich und gesamthaft eine effektive Minderung der Konsequenzen erreicht werden kann.

Im nächsten Schritt ist es erforderlich, die bisher nicht bearbeiteten Phasen Vorbeugung und Wiederherstellung für den Schadkomplex Dürre/Borkenkäfer auszuarbeiten. Gerade die Tatsache, dass über die Baumartenwahl eine enge Verzahnung zwischen der Überwindung des Schadens und der Minderung künftiger Risiken besteht, zeigt die Sinnhaftigkeit eines gesamthaften Vorgehens. Daran anschließend steht die Erstellung von weiteren Prozesslandschaften. Fragestellungen wie Kiefernsterben, Eschentriebsterben, Waldbrand aber auch der Klassiker Sturm bieten sich realistischerweise an. Da die bisherigen Erfahrungen zeigen, wie wichtig und erfolgreich an dieser Stelle die Kooperation zwischen Wissenschaft und Praxis ist, sind die Unteren Forstbehörden bereits heute eingeladen, sich in den Prozess einzubringen. Eine intensive Kooperation über Spätherbst und Winter des aktuellen Jahres kann hier ein wichtiger Baustein für eine Verbesserung unserer Krisenmanagementfähigkeit sein.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Abb. 5: Projektförderung.

Dr. Christoph Hartebrodt
FVA, Forstökonomie und Management
Tel.: (07 61) 40 18 – 2 62
christoph.hartebrodt@forst.bwl.de

FVA-Nachrichten

Neue Homepage

Mitte September ist es soweit – die neue Website der FVA geht online! Neben bisher Bewährtem stehen ab dann zusätzliche Inhalte und Funktionen übersichtlich und in attraktivem Design bereit: www.fva-bw.de.

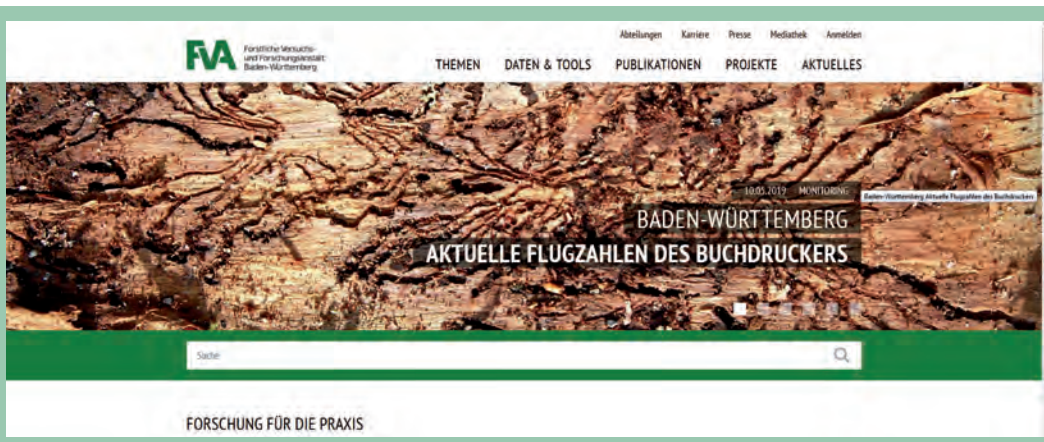


Abb. 1: Die Startseite (Ausschnitt) der neuen Homepage.

Flächendeckende Fernerkundungsbasierte Forstliche Strukturdaten (F³)

Am 17. September werden an der FVA das F³-Projekt und seine bisherigen Ergebnisse vorgestellt. Lebhafte Diskussionen zwischen Wissenschaft und Praxis sind dabei ausdrücklich erwünscht.
Im Projekt F³ wurden Methoden und Verfahren zur standardisierten Ableitung und kartenmäßigen Darstellung von Waldparametern basierend auf Fernerkundungsdaten entwickelt. Dadurch wird die Basis für eine deutschlandweit verfügbare, flächendeckend hoch aufgelöste und regelmäßig aktualisierbare Datengrundlage bezüglich Bestandeshöhe, Holzvolumen etc. für eine nachhaltige Waldwirtschaft in Deutschland geschaffen.
Das Statuskolloquium richtet sich an Nutzerinnen und Nutzer von Fernerkundungsdaten im forstlichen Umfeld sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit einem Interesse an der Ableitung von flächendeckenden Strukturdaten von Wäldern aus Fernerkundungsdaten.

Kongress zur zerstörungsfreien Prüfung und Bewertung

Vom 24. bis 27. September findet das internationale Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium im Herzen Freiburgs, in den Räumlichkeiten der Katholischen Akademie statt. Dieser Fachkongress beschäftigt sich mit der zerstörungsfreien Prüfung und Bewertung von Holz und wird von der FVA unter der Schirmherrschaft von USDA Forest Service Forest Products Laboratory, der Forest Products Society (FPS) und der International Union of Forestry Research Organizations (IUFRO) ausgerichtet.
Der Kongress bietet eine Plattform für all diejenigen, die sich mit der zerstörungsfreien Prüfung und Bewertung von Holz, Holzwerkstoffen und Holzkonstruktionen befassen.
Ziel ist es, Ergebnisse der neuesten Forschungs- und Technologietransferaktivitäten zu präsentieren und für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie Ingenieurinnen und Ingenieure aus aller Welt zugänglich zu machen. Die Vernetzung der Teilnehmenden untereinander wird neue Kooperationen fördern. Der Kongress bietet in mehreren parallelen Panels insgesamt über 100 Fachvorträge und 40 Posterbeiträge von Referentinnen und Referenten aus fast 30 Ländern. Weiterführende Informationen erhalten Sie unter: www.ndtesymposium.org.

Abb. 2: Die Katholische Akademie. *(Foto: Thomas Weidner)*

Buchen an der Schneeburg bei Freiburg (Foto: Thomas Weidner)